



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, BIOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES

**PROYECCIONES DE LAS EMISIONES POR LA QUEMA DE LEÑA EN BASE
A UN MODELO ENERGÉTICO DE UNA CASA CHILENA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

FÉLIX RODRIGO ADÁN ARIAS

PROFESOR GUÍA:
FELIPE DÍAZ ALVARADO

PROFESOR CO-GUÍA:
NICOLÁS HUNNEEUS LAGOS

COMISIÓN:
CRISTÍAN SALGADO HERRERA

SANTIAGO DE CHILE
2022

PROYECCIONES DE LAS EMISIONES POR LA QUEMA DE LEÑA EN BASE A UN MODELO ENERGÉTICO DE UNA CASA CHILENA

Entre los principales contaminantes que dañan la salud de las personas se encuentra el Material Particulado de 2,5 [μ m] (MP 2,5), que debido a su tamaño, ingresa fácilmente a las vías respiratorias. Más del 80 % de la generación de material particulado en Chile es generado por la combustión de leña para calefaccionar las casas, por lo que se vuelve importante estudiar este fenómeno en el territorio Nacional. Existen diferentes factores que afectan el consumo de leña, destacándose la temperatura ambiente, que cambiará en los próximos 30 años debido al calentamiento global. El objetivo general de esta memoria, es proyectar las emisiones futuras de MP2,5 del sector residencial, bajo escenarios de cambio climático, sobre la base de un modelo de demanda energética de un hogar que dependa de la temperatura exterior.

Se elaboraron proyecciones de las temperaturas promedio diarias para las distintas regiones de la zona centro sur de Chile utilizando modelo climático UKES-ssp5. Con las proyecciones de temperaturas, estimaciones de emisiones de MP2,5 entregadas por el Centro de Clima y la Resiliencia (CR^2) y un balance de energía sobre una vivienda, se propone una parametrización del consumo residencial de leña en función de la temperatura exterior del hogar. Entre los principales resultados, se obtuvo una disminución en las emisiones totales de MP2,5 en todos los escenarios, debido al aumento de temperaturas promedio producto del cambio climático. Para el caso de las regiones más centrales como O'Higgins, la disminución es de hasta un 18 % mientras que para regiones más al sur, como Magallanes, es de solo un 4 %. Al estudiar la sensibilidad del modelo, se observa que la mayor disminución de emisiones son con respecto a la aislación térmica de la vivienda, luego cambios en la humedad de la leña y por último cambios en la temperatura de confort.

El estudio realizado permitió generar una dependencia de la temperatura exterior con el consumo de leña de un hogar, incorporando un fenómeno de cambio climático y ver su impacto en las condiciones de calidad de aire en el territorio nacional. El aumento de temperatura supuesto en el escenario SSP-5, que no considera cambios en la matriz energética ni una migración de combustibles fósiles, muestra que a pesar del aumento de temperatura en el ambiente y la supuesta disminución del consumo de leña, las emisiones proyectadas para el año 2050 no serán menores a las que se generan hoy en día en el presente, por lo que se vuelve importante buscar soluciones para combatir los problemas que se enfrentan hoy en día con respecto a calidad del aire. Lo anterior podría significar cambios abordados desde las políticas públicas como: cambio en la matriz energética del país, tecnologías de calefacción de los hogares, o mejoras en la infraestructura de la vivienda.

El trabajo es una base para estudios más detallados en zonas geográficas, que podrán ser abordados conforme la resolución de los modelos climáticos aumente. Esto permitirá la proyección de la temperatura ambiente y concentración de MP en territorios más pequeños. Por último, se podría mejorar el modelo incorporando mayor detalle en los factores de emisión utilizados, las variables de aislamiento y las tecnologías de combustión.

T.
-¿T de Troy?
-No, T de terminé la tesis.

Saludos

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivo General	3
1.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Antecedentes	4
1.3.1. Contaminación atmosférica en Chile	4
1.3.2. Modelo nacional proyección de emisiones	5
1.3.3. Modelos Climáticos	10
1.3.4. Proyección de la temperatura y escenarios de cambio climático	11
1.3.5. Estudios de consumo de leña y la integración de la variable temperatura	13
1.3.6. Uso de los Antecedentes en el trabajo de investigación	15
2. Proyección de las Temperaturas	16
2.1. Metodología	16
2.1.1. Definición zonas geográficas	16
2.1.2. Modelo CMIP6	18
2.2. Resultados	19
2.3. Discusión	19
3. Factores de corrección	21
3.1. Metodología	21
3.1.1. Factor de corrección 1	21
3.1.2. Factor de corrección 2	22
3.2. Resultados	27
3.2.1. Factor de corrección 1	27
3.2.2. Factor de corrección 2	28
3.3. Discusión	30
4. Proyección del consumo de leña y las emisiones generadas	34
4.1. Metodología	34
4.2. Resultados	36
4.2.1. Proyección Consumo de leña	37
4.2.2. Proyección Emisiones de MP 2,5	37
4.3. Discusión	40
5. Análisis de Sensibilidad	43
5.1. Metodología	43
5.1.1. Cambio temperatura de confort	43
5.1.2. Cambio aislación térmica	44

5.1.3.	Cambio humedad leña	45
5.2.	Resultados	46
5.2.1.	Cambio Temperatura de confort	46
5.2.1.1.	Factor de corrección	46
5.2.1.2.	Emisiones totales	50
5.2.1.3.	Discusiones Parciales	52
5.2.2.	Cambio en la aislación de la casa	54
5.2.2.1.	Elasticidad de demanda	54
5.2.2.2.	Factor de corrección	55
5.2.2.3.	Emisiones Totales	57
5.2.2.4.	Discusiones Parciales	58
5.2.3.	Cambio en humedad en la madera	60
5.2.3.1.	Elasticidad de demanda	60
5.2.3.2.	Factor de corrección	61
5.2.3.3.	Emisiones totales	63
5.2.3.4.	Discusiones Parciales	64
5.3.	Discusión	65
6.	Reflexiones y proyecciones	67
7.	Conclusiones	70
	Bibliografía	72
	Anexo A.	76
	Anexo B.	78
	Anexo C.	82
	Anexo D.	83
	Anexo E.	86
	Anexo F.	90
	Anexo G.	92
	Anexo H.	96
	Anexo I.	97
	Anexo J.	98

Índice de Tablas

2.1.	Puntos geográficos, por región en grados decimales, de las estaciones meteorológicas	18
3.1.	Resumen valores factor de corrección 1 para cada región	28
3.2.	Valores factor de corrección para cada región	29
4.1.	Valores para contaminantes generado por la combustión de leña de eucaliptus para leña seca (humedad menor del 15 %) o para leña húmeda (humedad menor del 20 %) en una salamandra de cañón vertical.	35
4.2.	Proyección del número de viviendas por región y por año	36
4.3.	Porcentaje de disminución con respecto a las emisiones totales de MP2,5 proyectadas por el CR^2 , generadas por el consumo de leña, incluyendo la variable de temperatura para el año 2050.	39
5.1.	Variación porcentual de emisiones de MP2,5 expuestas por el CR^2 para el año 2050 para los distintos valores de factores de corrección con distintas temperatura de confort.	52
5.2.	Elasticidad de demanda ϵ según el tipo de aislante térmico utilizado en una casa chilena	55
5.3.	Variación porcentual de emisiones de MP2,5 de las proyecciones del CR^2 para el año 2050 para el factores de corrección 2 con distintas aislaciones térmicas al interior de un hogar.	58
5.4.	Valores para la elasticidad de demanda en función del porcentaje humedad presente en la leña	60
5.5.	Variación porcentual, respecto al caso entregado por CR^2 , de las emisiones totales de MP2,6 por región, según los distintos porcentajes de humedad presentes en la leña.	64
A.1.	Proyección del consumo de leña por vivienda anual y por región	77
F.1.	Factor de Corrección 1 para todas las regiones desde el 2015 hasta el 2050 . . .	91
H.1.	Consumo de leña al interior de un hogar en función de la temperatura exterior.	96
I.1.	Factor de Corrección 2 para todas las regiones desde el 2015 hasta el 2050 . . .	97
J.1.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región O´higgins	98
J.2.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Maule	99
J.3.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Ñuble	100
J.4.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Bio-Bio	101
J.5.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Araucanía	102
J.6.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Los Ríos	103
J.7.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Los Lagos	104
J.8.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Aysen	105
J.9.	Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Magallanes	106

Índice de Ilustraciones

1.1.	Concentración promedio diaria de MP _{2,5} para los años 2017-2019, distintas localidades de Chile. [3]	2
1.2.	Consumo de leña por vivienda anual para las distintas regiones de Chile [14]	5
1.3.	Distintos factores de emisión para contaminantes dependiendo del artefacto [19]	9
1.4.	Proyección consumo de leña por vivienda anual para las distintas regiones de Chile	10
2.1.	Estación Meteorológica Concepción [35]	17
2.2.	Temperatura promedio diaria para el periodo histórico (azul) y las proyecciones para los años 2015 a 2050 (rojo) a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	19
3.1.	Vivienda social	26
3.2.	Tendencia factor de corrección por región 2015-2050	28
3.3.	Elasticidad de demanda consumo de leña al interior de un hogar	29
3.4.	Tendencia factor de corrección por región 2015-2050	30
4.1.	Consumo de leña por vivienda a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	37
4.2.	Emisiones Toteales de MP _{2,5} [ton/año] a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	38
5.1.	Factor de corrección 1: Sensibilidad temperatura de confort	47
5.2.	Factor de corrección 2: Sensibilidad temperatura de confort	49
5.3.	a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	50
5.4.	a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	51
5.5.	Elasticidad de demanda para distintos casos de aislación para una casa chilena	54
5.6.	Factores de corrección 2 para distintos casos de aislación térmica	56
5.7.	a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	57
5.8.	Emisiones totales para la región de Magallanes bajo diferentes casos de aislación térmica dentro de un hogar	60
5.9.	Factores de corrección 2 para distintos casos de aislación térmica	62
5.10.	a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes	63
G.1.	Factor de corrección Región O´higgins	92
G.2.	Factor de corrección Región Maule	92
G.3.	Factor de corrección Región Ñuble	93
G.4.	Factor de corrección Región Bio-Bio	93
G.5.	Factor de corrección Región Araucanía	93

G.6.	Factor de corrección Región Los Rios	94
G.7.	Factor de corrección Región Los Lagos	94
G.8.	Factor de corrección Región Magallanes	94
G.9.	Factor de corrección Región Aysen	95

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, la creación de planes de descontaminación atmosférica da cuenta de la preocupación del Estado y de la opinión pública sobre la calidad del aire, que se ve afectada por la gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero. Según el RETC (ministerio de medio ambiente) más del 30% de la contaminación de material particulado MP2,5 es generado por el sector residencial, debido a la alta demanda energética que existe para la calefacción de las casas. Debido a lo anterior, se vuelven un problema, a nivel Nacional, las emisiones generadas por los distintos hogares chilenos y el modo en que estas afectan la calidad de vida de la población.[1]

Gran parte del problema de la calidad del aire, generada por las emisiones de MP2,5 es generada en invierno. Las casas necesitan de energía para poder mantener una temperatura confort dentro de sus hogares, la que puede ser suministrada a través de diferentes fuentes: leña, gas licuado y electricidad. La demanda energética a nivel nacional es cubierta principalmente con leña, esto por razones económicas, de disponibilidad, de preferencias culturales asociadas al confort térmico o de multifuncionalidad de los artefactos de calefacción. Sin embargo, como el mercado actual no tiene capacidad para generar leña seca, su uso se transforma en un problema de contaminación atmosférica y calidad del aire que pone en peligro la salud de la población.[2]

En Chile, existen diferentes zonas afectadas por el fenómeno anteriormente descrito, siendo la zona centro-sur la principalmente impactada, a causa de las bajas de temperatura y la necesidad de un mayor gasto energético para la calefacción. En la figura 1.1 se pueden observar las ciudades que no cumplen con la norma primaria de calidad del aire vigente de emisiones de MP2,5, la cual exige concentraciones menores a $50[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ diarias. Ciudades como Chillán, Los Ángeles, Temuco y Coyhaique presentan una contaminación hasta 3 veces mayor a lo que se permite según la norma chilena.[3]

Figura 6. Percentil 98 de concentración promedio diaria para los años 2017, 2018 y 2019. Localidades con valores mayores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que exceden la norma diaria nacional.

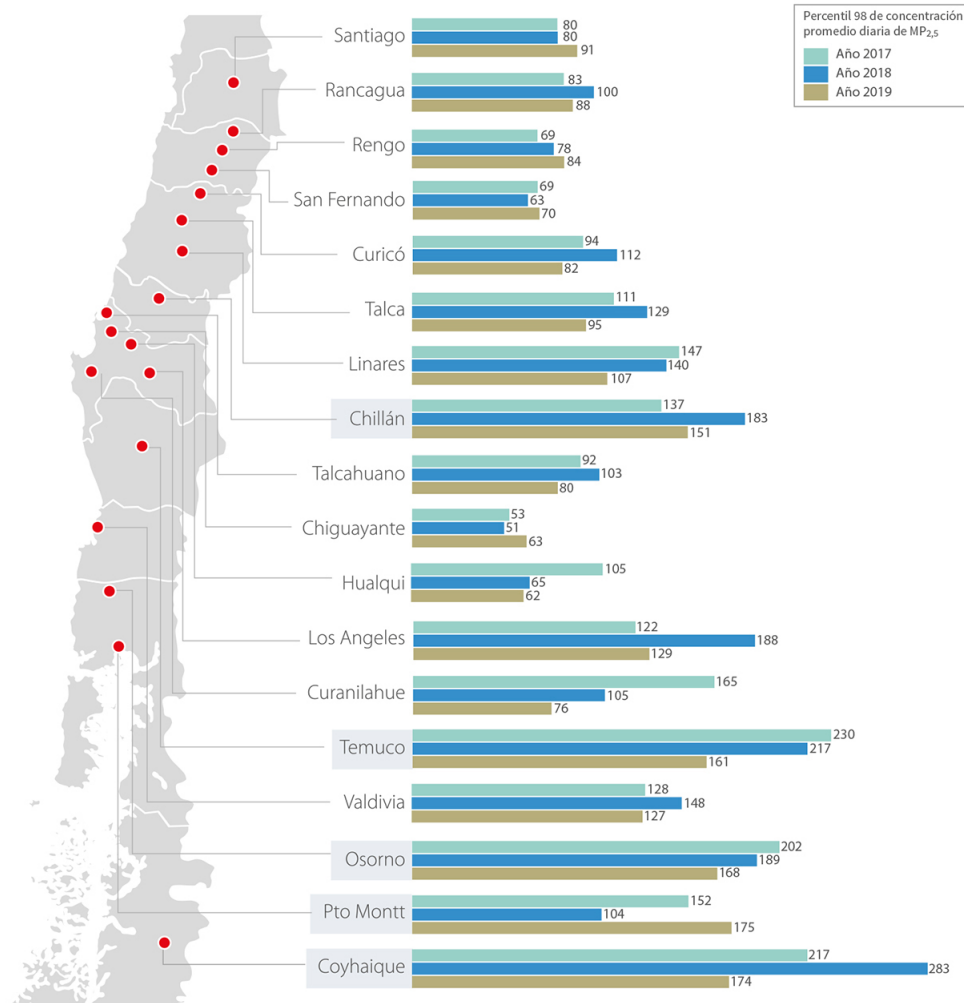


Figura 1.1: Concentración promedio diaria de $\text{MP}_{2,5}$ para los años 2017-2019, distintas localidades de Chile. [3]

El consumo de leña se ve principalmente incrementado en las distintas ciudades, como resultado de la disminución de la temperatura en el invierno a medida que se avanza hacia el sur en el territorio nacional. Para lograr mantener una temperatura confort dentro de un hogar, existe una relación directa entre la temperatura interior y exterior de la casa. Entre menor sea la temperatura exterior, mayor será el gasto energético necesario para lograr llegar a la misma temperatura en el mismo hogar de referencia. Por ello, el consumo de leña será mayor, como también así las emisiones generadas. [4]

Uno de los factores que está afectando la temperatura promedio global es el cambio climático. Según el IPCC se espera un aumento de temperatura irreversible de al menos $0,5^{\circ}\text{C}$ en todo el planeta dentro de los próximos 30 años y esto afectará diferentes sectores sociales, ambientales y económicos. Se vuelve interesante cuestionar cómo afectará este cambio de temperatura al territorio nacional y si tendrá algún impacto en el consumo energético y las respectivas emisiones del sector residencial. [5]

El IPCC expuso en uno de sus estudios que, para Chile, se han proyectado escenarios positivos y adversos en diferentes dimensiones, entre ellas, un aumento en la temperatura ambiente promedio a nivel del suelo. Tenemos escenarios positivos que estiman $0,5^{\circ}\text{C}$ de alza y escenarios pesimistas que estiman $3,5^{\circ}\text{C}$ de alza de la temperatura. Esta variación de temperatura cambiará el consumo de leña para calefacción domiciliaria, porque este consumo dependerá de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la casa, tal como se ha mencionado.[3]

A consecuencia de lo anterior, ¿cuál es el impacto del alza de la temperatura en la calidad del aire, específicamente en las emisiones de material particulado asociados a la combustión de leña residencial? Este trabajo busca responder cómo cambia la calidad del aire, específicamente las emisiones de $\text{MP}_{2,5}$, con el efecto del Cambio Climático en la temperatura, sobre la base de un balance energético de una vivienda.

Existen estudios realizados por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR^2), a nivel nacional, sobre la proyección de las emisiones generadas por calefacción del sector residencial, sin embargo, no incluyen la variable temperatura en su modelo. Lo novedoso del trabajo es la inclusión de esta variable de temperatura en un modelo de proyección de emisiones nacionales y la conclusión sobre qué ocurre en la emisión de contaminantes conforme cambia la temperatura, esta sostenida en el balance energético de una vivienda.[6]

Lo anterior se vuelve interesante, ya que al momento de pensar en un aumento de la temperatura al exterior de un hogar, esto implicaría la disminución del consumo, por lo que en su defecto disminuiría las emisiones de material particulado. Sin embargo ¿Qué tan significativa es esa disminución?, ¿Lo suficiente para despreocuparnos y pensar que el cambio climático está ayudando a la disminución de las emisiones por este efecto en la temperatura?.[7]

Se vuelve importante estudiar este tipo de fenómenos para poder antepoernos a distintos escenarios, y con ello, generar cambios en el actuar de las personas para buscar soluciones, particularmente en este caso el aumento de la temperatura atmosférica. La investigación realizada en esta memoria permitirá tener una mayor claridad con el futuro de las emisiones y la calidad del aire en el país. Lo anterior generaría cambio en la toma de decisiones con respecto a las soluciones que se podrían seguir para atacar el problema de contaminación atmosférica, provocando cambios incluso en las políticas públicas o en la toma de decisiones gubernamentales.[8]

1.1. Objetivo General

Proyectar las emisiones futuras del sector residencial bajo escenarios de cambio climático, sobre la base de un modelo de demanda energética de un hogar que dependa de la temperatura exterior.

1.2. Objetivos Específicos

- Generar una base de datos de las temperaturas promedios regionales del presente hasta el 2050

- Formular un modelo que permita estimar la demanda energética de calefacción para una casa urbana promedio de una región seleccionada, considerando la variable temperatura exterior.
- Estimar las emisiones del sector residencial para la región seleccionada sobre la base del modelo de demanda energética de una casa considerando las variables demográficas de cada escenario.
- Evaluar el desempeño de un conjunto de medidas: la aislación térmica de la casa, la temperatura de confort y la calidad de la fuente del combustible.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Contaminación atmosférica en Chile

Los actuales problemas de contaminación atmosférica y cambio climático están directamente relacionados con emisiones de contaminantes, forzantes climáticos y de gases de efecto invernadero (GEI). Estimar estas emisiones, de manera consistentes entre sí, es un prerrequisito para cuantificar el impacto de las actividades humanas tanto en la salud como en el clima, y así desarrollar estrategias efectivas de descontaminación que permitan abordar ambos problemas de manera integrada.[9]

A nivel nacional, el sector residencial representó el 94 % de las emisiones de MP2,5 del año 2017 debido al uso de leña para calefacción y cocción de alimentos, las que se distribuyeron de manera diferenciada a lo largo del país. Por ejemplo, en un 75 % de las comunas, más del 80 % de sus emisiones respectivas de MP2,5 fueron generadas por fuentes residenciales. Las que contaron con mayores emisiones anuales fueron Osorno, Temuco, Valdivia, Coyhaique, Chillán y Los Ángeles, que poseen políticas de calidad del aire, además de Puerto Montt y Puerto Aysén, que no cuentan con este tipo de regulaciones.[10]

La contaminación del aire por calefacción de las viviendas se produce fundamentalmente por el uso de leña húmeda, artefactos de combustión ineficientes y mal utilizados e insuficiente aislación térmica de las viviendas. Estas fuentes de contaminación emiten partículas contaminantes las que llamamos Material Particulado (MP), que tiene efectos perjudiciales para la salud de las personas, y si su concentración es mayor a la establecida en las normas que tiene nuestro país, pueden producir o agravar enfermedades, principalmente cardiacas y respiratorias.[11]

El Material Particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, de distintas formas y tamaños, y cuya composición química es variable, dependiendo de las fuentes que lo originen, siendo posible clasificarlo según su diámetro en MP10 (grosso) y MP2,5 (fino). El primero es aquel en que las partículas tienen un diámetro menor a 10 micrones (o micrómetros), y el segundo, en que las partículas tienen un diámetro menor a 2,5 micrones, mucho más pequeños que un grano de arena o el grosor de un cabello humano. Este último es el contaminante más dañino para la salud y que genera mayores niveles de mortalidad prematura en la población, ya que por ser tan pequeño puede ingresar hasta el torrente sanguíneo ocasionando enfermedades graves en la población a largo plazo (enferme-

dades cardiacas, cardiorrespiratorias, cáncer, etc.).[11]

La contaminación por uso de leña en las ciudades del centro y sur de Chile está estrechamente asociada a la pobreza energética debido a las dificultades para acceder a servicios energéticos de calidad junto con una aislación térmica deficiente de las viviendas. Además, la leña no solo es valorada por ser el energético de menor precio, sino que también por la multifuncionalidad de los artefactos asociados, el tipo de calor que entrega y porque es posible acceder a ella por diversos medios.[12]

1.3.2. Modelo nacional proyección de emisiones

Tomando en consideración que, en el centro sur de Chile, una de las fuentes más importante de emisiones de material particulado es el consumo de leña residencial, surge la necesidad de proyecciones de este en un horizonte futuro. Para la proyección se busca, en una primera instancia, determinar la línea base de emisiones, para luego poder ver las diferentes trayectorias estimadas ante distintos escenarios esbozados a partir de las barreras socioculturales encontradas y la posible política pública.[8][13]

En la siguiente figura 1.2 se muestra el consumo de leña por vivienda anual para cada región. La única fuente primaria que existe para todas las regiones es el estudio elaborado por el CDT el año 2015. La encuesta es representativa a nivel regional solamente, lo que impide poder desagregar la información para tener datos para la región de Nuble. Esto implica que las proyecciones en la imagen son considerando la división administrativa regional anterior al año 2018 y la región del Ñuble es considerada como parte de la región del Biobío.[14]

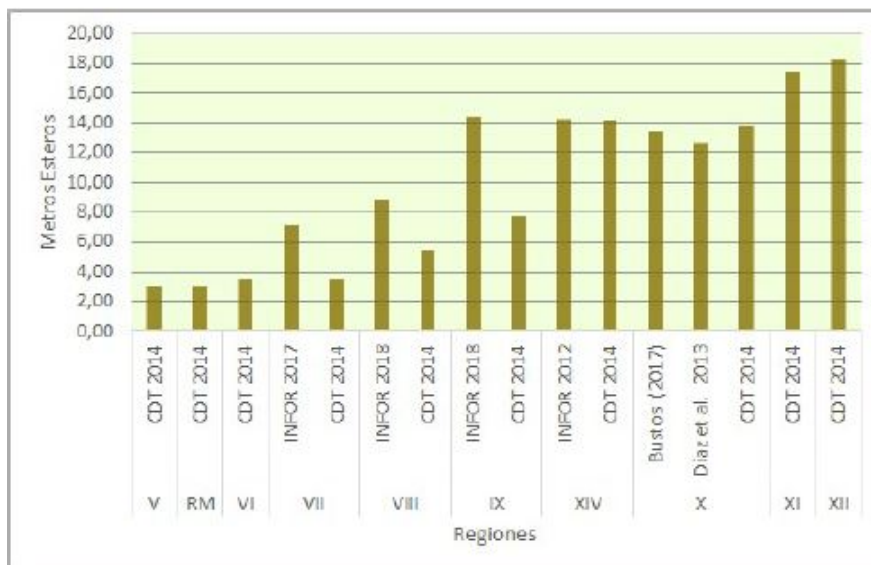


Figura 1.2: Consumo de leña por vivienda anual para las distintas regiones de Chile [14]

Existe un estudio realizado por el CR^2 para el año 2021, el cual entrega una propuesta metodológica para proyectar el consumo de leña en ciudades del centro-sur de Chile. Las respuestas que se busca responder este trabajo es: ¿Cómo será la calidad del aire de las ciudades

del centro sur hacia los años 2030 y 2050?. [15]

Para lograr definir un modelo de las distintas emisiones generadas por el consumo de leña residencial primero se define el consumo de leña por vivienda (CLPV). Para el caso base se utiliza un modelo de regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que indique la relación entre el consumo de leña actual de las viviendas y estos determinantes. El modelo se aplica solamente en aquellos hogares que efectivamente consuman leña, opción que presenta las ventajas de evitar contar con una muestra censurada y permitir introducir ajustes al modelo mediante el factor de penetración, que representa que tanto se consume leña en esa respectiva región. En la ecuación 1.1 se muestra el modelo MCO aplicado.

$$CLPV_i = \beta_0 + \sum \beta_{1,j} * Ingreso_{i,j} + \beta_2 * Zona_i + \sum \beta_{3,r} * Region_{i,r} + \epsilon_i \quad (1.1)$$

Donde:

- $CLPV_i$: Consumo de leña por vivienda i
- $Ingreso_{i,j}$: Tramo j- donde $j \in [0,14]$ - de ingreso al que pertenece la *vivienda*_i
- $Zona_i$: Zona urbana o rural a la pertenece la *vivienda*_i
- $Region_{i,r}$: Región r- donde $r \in [0,8]$ - a la pertenece la *vivienda*_i

Posterior a la definición del CLPV, es necesario calcular el Factor de penetración (FP). El factor de penetración permite hacer una estimación de cuantos hogares de las región efectivamente consumen leña para calefaccionar sus hogares . Para estimar el FP de la Leña se utilizó un modelo de variable dependiente limitada tipo logit, considerando que la variable dependiente del hogar es dicotómica (consume o no consume leña) , y que el consumo de leña presenta este tipo de distribución. A diferencia del consumo de leña por vivienda, para el modelo utilizado en estimar el factor de penetración se utilizó la encuesta CASEN 2015. Esta base informa si el hogar consume leña o no, pero no la magnitud del consumo. Utilizar esta base de datos tiene como ventaja la disposición del ingreso como variable continua, y que la mayor cantidad de datos permiten correr las regresiones por región, permitiendo observar diferencias regionales en los parámetros asociados al ingreso[16].

Una una vez que se obtienen los parámetros de la regresión logit y las proyecciones de las variables independientes, el consumo promedio por vivienda en la región r para determinado año se definen acorde a la siguiente ecuación 1.2:

$$FP_{a,r} = \beta_0 + \beta_{a,r} * Ingreso_{a,r} + \beta_{2,r} * Zona_{a,r} + \beta_{3,r} * NPersonas_{a,r} + \sum \beta_{4,r,j} * TCiudad_{a,r} \quad (1.2)$$

Donde:

- $FP_{a,r}$: Factor de penetración del año a de la región r
- $\beta_{0,r}$: Constante regional
- $Ingreso_{a,r}$: Mediana de ingreso ingresos de las viviendas en la región r en el año a
- $Zona_r$: Proporción de la zona urbana en el año a en la región r

- *Tciudad*: Porcentaje de personas que viven en cada una de los posibles tamaños de la ciudad j e en el año a en la región r

Para poder realizar el modelo de estimación de demanda, en el estudio agregaron una variable de numero de viviendas, para esto fue necesario hacer una proyección para los escenarios futuros para Chile 2050.

La proyección del número de viviendas se basa en las proyecciones de población a nivel país 1992-2050 y regionales 2002 - 2035 que entrega el Instituto Nacional de Estadísticas (INE(2018) , INE (2019a)) y el numero de personas por vivienda promedio de cada región. De esta forma, el número de viviendas proyectadas al año de interés es como se muestra en la siguiente ecuación 1.3:[17]

$$NV_{a,r} = \frac{P_{a,r}}{Npv_{a,r}} \quad (1.3)$$

Donde:

- $NV_{a,r}$ = Número de viviendas en la región r para el año a
- $P_{a,r}$ =Poblacion total en la región r para el año a
- $Npv_{a,r}$ = Personas promedio por vivienda en la región r para el año a

De acuerdo con lo desarrollado en el informe UNIVERSIDAD DE CHILE (2014), en donde se estudió el crecimiento de viviendas en las regiones, y en las proyecciones oficiales del Ministerio del Medio Ambiente, la evolución del número de personas por vivienda en la región r en el año a depende del crecimiento esperado en la región, según indica la ecuación 1.4:[18]

$$Npv_{r,a} = Npv_{r,a-1} * (1 - \alpha * gt_{a,r}) \quad (1.4)$$

Donde:

- $Npv_{r,2014} = \frac{P_{r,2014}}{Nv_{r,2014}}$, información obtenida de INE(2019)
- α =Corresponde a la elasticidad entre el ingreso per cápita y el numero de habitantes por vivienda, este parámetro de acuerdo a MAPS Chile (2014)
- gt = indica la varicion del PIB per cápita anual en la región r , información que se obtiene de las proyección del PIB regional del modelo ECOGEM en conjunto con las proyecciones regionales del INE

Una vez definido los parámetros anteriores, se puede obtener el nivel de actividad.Para proyectar el Nivel de actividad del consumo de leña regional en el tiempo, se sigue un enfoque Bottom up, en el cual se considera la evolución del consumo de combustible por parte de las viviendas, la proporción de viviendas que consumen y los cambios en la magnitud del parque de viviendas del área de estudio, componentes resumidos en la ecuación 1.5:

$$NA_{i,r} = CEPV_{j,r} * FP_{j,r} * NV_{[j, r]} \quad (1.5)$$

Donde:

- NA_r = Nivel de actividad en el año j en la región r
- $CEPV_{j,r}$:Consumo de leña por vivienda en el año j en la región r
- $FP_{j,r}$: Factor de penetración del año j de la región r
- $NV_{j,r}$ = Número de viviendas en la región r para el año j

Finalmente, el modelo para la proyección de las emisiones difusas provenientes del consumo de leña residencial se obtiene al ponderar el consumo total de combustible (Nivel de Actividad) por un factor de emisión, tal como se muestra en la ecuación 1.6:

$$ETOTAL_{i,j} = \frac{NA_{i,j} * FE_{i,j}}{}$$

equation

Donde:

- $ETOTAL_{i,j,z}$: Emisiones de material particulado $MP_{2,5}$ en la comuna i, para el año de evaluación j en [ton/año]
- $NA_{i,j,z}$: Nivel de actividad en la comuna i, para el año j en [Kg/año]
- $FE_{i,j,z}$:Factor de emisión para la comuna i, para el año j en [g/Kg]

Los factores de emisión normalmente utilizados en la literatura, provienen de estudios de laboratorio, y varían según la calidad de la tecnología utilizada, la humedad presente en la leña y condiciones de operación de los artefactos, por lo cual lo que se suele realizar en los inventarios de emisiones es ponderar cada uno de los diferentes factores de emisión con el nivel de actividad relativo al consumo de leña que cumple con las características del factor (humedad, tecnología, operación). Para el presente estudio se utilizaron los factores de emisión desarrollados en el estudio SICAM (2014) que se pueden observar en la figura 1.3.[19]

Artefacto	Contaminante	<25 % HD.	>25 % HD.	Mala Operación
Cocina a leña	MP10	7,5	13,9	33,8
	MP2,5	7,0	12,9	31,5
	CO	305,4	444,7	1139,7
	NOX	2,1	2,7	2,7
	COV	114,5	363,5	1033,2
	SOX	0,2	0,2	0,2
Calefactor sin templador	MP10	6,2	11,8	45,8
	MP2,5	5,8	11,0	42,6
	CO	207,1	443,1	584,7
	NOX	2,0	3	3
	COV	26,5	84,1	242,2
	SOX	0,1	0	0,2
Calefactor con templador	MP10	5,2	11	29,5
	MP2,5	4,8	10,2	27,5
	CO	129,1	238,5	400,8
	NOX	1,9	2	2
	COV	26,5	84,1	241,2
	SOX	0,1	0	0
Salamandra / Chimenea tradicional / Otro	MP10	12,7	28,5	
	MP2,5	11,8	26,5	
	CO	309,9	464,1	
	NOx	7,7	3,1	
	COV	114,5	363,5	
	SOX	0,2	0,2	
Pellet	MP10	1,9		
	MP2,5	1,8		
	CO	10,0		
	NOX	1,9		
	SOx	0,1		
	COV	26,5		

Figura 1.3: Distintos factores de emisión para contaminantes dependiendo del artefacto [19]

Entre los principales resultados obtenidos en este estudio, se encuentran las proyecciones del consumo de leña por vivienda anual de las distintas regiones desde el año 2015 hasta 2050. En la fig 1.4 se pueden observar los resultados obtenidos para los consumos de leña anuales por región. Para revisar con mayor detalle los valores anuales del CLPV de cada región revisar Anexo A.

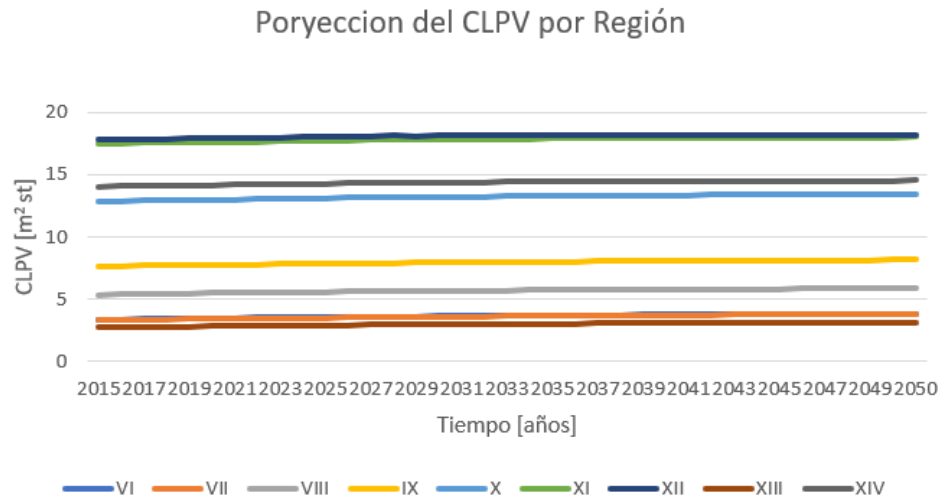


Figura 1.4: Proyección consumo de leña por vivienda anual para las distintas regiones de Chile

Para el desarrollo de la memoria se utilizarán los resultados presentados en antecedentes del estudio del CR^2 . Lo anterior incluirá los CLPV obtenidos por su modelo como una comparación de las emisiones futuras estimadas, versus las estimadas por este estudio para generar una comparación al integrar la variable de la temperatura del ambiente.

1.3.3. Modelos Climáticos

Un modelo climático es una representación numérica de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el sistema climático. Los modelos climáticos usan métodos de investigación cuantitativa para simular las interacciones de la atmósfera terrestre, los océanos, el relieve terrestre y el hielo. Se utilizan para el estudio de la dinámica del sistema meteorológico y climático para las proyecciones del clima futuro.[20]

Los modelos climáticos se basan en disciplinas científicas como la dinámica de fluidos y la termodinámica, así como los procesos físicos como la transferencia de radiación, es decir la energía entrante a la Tierra como las radiaciones electromagnéticas de onda corta (luz visible y ultravioleta) y la energía saliente de onda larga (infrarroja) proveniente de la radiación electromagnética de la Tierra. Los modelos se pueden usar para predecir un rango de variables tales como el movimiento local del aire, la temperatura, las nubes y otras propiedades atmosféricas; la temperatura, salinidad y circulación del océano; la capa de hielo en tierra y mar; la transferencia de calor y humedad del suelo y la vegetación a la atmósfera; y procesos químicos y biológicos, entre otros.[21]

Los modelos relacionados con la temperatura del planeta predicen una tendencia ascendente en la temperatura superficial y un rápido incremento de la temperatura en altitudes altas. Los modelos no presuponen que el clima se calentará debido al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero. En cambio, los modelos predicen cómo los gases de efecto invernadero interactuarán con la transferencia de radiación y otros procesos físicos. El enfriamiento o calentamiento es por tanto un resultado, no un supuesto, de los modelos.[22]

El clima es forzado por el sol y el balance de energía que se produce en la superficie de la tierra, el que va determinando, a partir por ejemplo de : la cobertura nubosa, compuestos que pueden alterar el balance de energía, velocidad del viento, entre otros. Estos fenómenos determinan como va evolucionando el forzamiento que recibe el planeta. Una de las consecuencias del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, es que estos, retienen el calor dentro del sistema tierra y eso ha variado la cantidad de energía que llega a la superficie de la tierra, por lo que el balance de energía se ha visto perturbado. Lo que hacen los modelos climáticos es que van forzados por el sol, y estiman una cierta cantidad de energía en $[W/m^2]$ que llega a la atmósfera, haciendo el cálculo de cuanto llega a la superficie y teniendo en consideración la trayectoria de emisiones de gases de efecto invernadero o aerosoles. Los escenarios de de emisiones, denominados SSP, son trayectorias de emisiones que fuerzan los modelos climáticos al seguir una cierta evolución y esas emisiones se traducen a nivel de sustentabilidad o cambios en la matriz energética.[24]

1.3.4. Proyección de la temperatura y escenarios de cambio climático

Al coordinar el diseño y la distribución de simulaciones de modelos climáticos globales del pasado, presente y clima futuro, el Climate Model Intercomparison project (CMIP) se ha convertido en uno de los elementos fundamentales en la ciencia del clima. El (CMIP), organizado bajo los auspicios del World Climate Research Program (WCRP), comenzó su trabajo hace 20 años como una comparación de un conjunto de los primeros modelos climáticos acoplados globales que realizan experimentos utilizando modelos de atmósfera, considerando un océano dinámico, una superficie terrestre simple y hielo marino termodinámico.[25]

El objetivo de CIMIP es entender mejor el pasado, presente y el futuro del cambio climático derivado del cambio de variables naturales como forzadas o respuestas a los cambios en la radiación, en un contexto de multi-modelos. Además, se busca la estandarización de la salidas del modelo en un formato específico, y la recopilación, archivo y acceso de la salidas del modelo a través de Earth System Grid Federation (ESGF) que es centro de recopilación de datos, para facilitar el análisis multi-modelo.[26]

La importancia y el éxito que ha tenido el CMIP con respecto a la simulación de modelos climáticos, ha traído nuevos desafíos. Coordinar proyectos se ha vuelto cada vez más complejo, ya que han aumentado de forma significativa la comunidad de científicos interesados en la modelación del cambio climático. Lo anterior trajo como consecuencia una diversidad en los experimentos y datos de salida de los modelos, generando problemas en el numero de experimentos como también problemas técnicos de infraestructura (almacenamiento de datos). EL ejercicio de la intercomparación se hace cada cierta frecuencia y ya se ha adopta la sexta fase del CMIP (CMIP6), la que está en constante evolución. [27][28]

Dentro de los modelos climáticos disponibles entregados por el CMIP6 se encuentra el UKES-SSP, este modelo es el más actual hasta la fecha, el que es capaz de entregar la mayor resolución para distintas zonas geográficas del planeta. El modelos UKES-SSP permite generar simulaciones de distintas variables, bajo diferentes escenarios seleccionados (ScenariosMIP). Dentro del caso de estudio para esta memoria, se tomará la variable temperatura de superficie a nivel del mar (SST), mientras que los escenarios de cambio climático cuen-

tan con una variedad de variables influyentes, denominados Shared Socioeconomic Pathways (SSP). Los SSP forman parte de un nuevo marco de escenarios, establecido por la comunidad de investigación sobre el cambio climático para facilitar el análisis integrado del clima futuro impactos, vulnerabilidades, adaptación y mitigación. A continuación se presenta un resumen de los distintos escenarios:[29][30][31]

- **SSP1** Sostenibilidad – Tomando el Camino Verde (Bajos desafíos para la mitigación y adaptación). El mundo cambia de manera gradual, pero generalizada, hacia un camino más sostenible, enfatizando un desarrollo más inclusivo que respete los límites ambientales percibidos. La gestión de los bienes comunes globales mejora lentamente, las inversiones en educación y salud aceleran la transición demográfica y el énfasis en el crecimiento económico se desplaza hacia un énfasis más amplio en el bienestar humano. Impulsada por un compromiso cada vez mayor con el logro de los objetivos de desarrollo, la desigualdad se reduce tanto entre los países como dentro de ellos. El consumo está orientado hacia un bajo crecimiento material y una menor intensidad de recursos y energía.
- **SSP2** Middle of the Road (Desafíos medianos para la mitigación y la adaptación) El mundo sigue un camino en el que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no se apartan mucho de los patrones históricos. Ingresos por desarrollo y crecimiento de ingresos de manera desigual, con algunos países haciendo un progreso relativamente bueno mientras que otros no están a la altura de las expectativas. Las instituciones mundiales y nacionales trabajan para lograrlo, pero avanzan lentamente en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible. Los sistemas ambientales experimentan degradación, aunque hay algunas mejoras y, en general, la intensidad de los recursos y el consumo de energía disminuye. El crecimiento de la población mundial es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo. La desigualdad de ingresos persiste o mejora solo lentamente y los desafíos para reducir la vulnerabilidad a los cambios sociales y ambientales continúan.
- **SSP3** Rivalidad regional- Un camino rocoso (grandes desafíos para la mitigación y la adaptación). El resurgimiento del nacionalismo, las preocupaciones sobre la competitividad y la seguridad y los conflictos regionales empujan a los países a centrarse cada vez más en cuestiones internas o, como mucho, regionales. Las políticas cambian con el tiempo para orientarse cada vez más hacia cuestiones de seguridad nacional y regional. Los países se centran en alcanzar los objetivos de seguridad energética y alimentaria dentro de sus propias regiones a expensas de un desarrollo de base más amplia. Disminuyen las inversiones en educación y desarrollo tecnológico. El desarrollo económico es lento, el consumo es intensivo en materiales y las desigualdades persisten o se agravan con el tiempo. El crecimiento de la población es bajo en los países industrializados y alto en los países en desarrollo. Una baja prioridad internacional para abordar las preocupaciones ambientales conduce a una fuerte degradación ambiental en algunas regiones.
- **SSP4** Desigualdad: un camino dividido (bajos desafíos para la mitigación, altos desafíos para la adaptación). Las inversiones altamente desiguales en capital humano, combinadas con las crecientes disparidades en las oportunidades económicas y el poder político,

conducen a mayores desigualdades y estratificación tanto entre países como dentro de ellos. Con el tiempo, se amplía la brecha entre una sociedad conectada internacionalmente que contribuye a la economía intensiva en conocimiento y capital. sectores de la economía global, y una colección fragmentada de sociedades de bajos ingresos y poca educación que trabajan en una economía intensiva en mano de obra y de baja tecnología. Cohesión social, la degradación y los conflictos y disturbios se vuelven cada vez más comunes. El desarrollo tecnológico es alto en la economía y los sectores de alta tecnología. El sector energético globalmente conectado se diversifica, con inversiones en combustibles intensivos en carbono como el carbón y el petróleo no convencional, pero también en fuentes de energía bajas en carbono. Las políticas ambientales se enfocan en lo local.

- **SSP5** Desarrollo impulsado por combustibles fósiles: tomando la carretera (grandes desafíos para la mitigación, bajos desafíos para la adaptación). Este mundo confía cada vez más en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un rápido progreso tecnológico y desarrollo del capital humano, como el camino hacia el desarrollo sostenible. Los mercados globales están cada vez más integrados. También hay fuertes inversiones en salud, educación e instituciones para mejorar capital humano y social. Al mismo tiempo, el impulso por el desarrollo económico y social se combina con la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo. Todos estos factores conducen al rápido crecimiento de la economía mundial, mientras que la población mundial alcanza su punto máximo y decae en el siglo XXI. Los problemas ambientales locales como la contaminación del aire se manejan con éxito. Hay fe en la capacidad de gestionar con eficacia las condiciones sociales y ecológicas sistemas, incluso mediante geoingeniería si es necesario.

Para el desarrollo de la memoria se utilizarán modelos de proyección climática del CMIP6 UKES-SSP, con el propósito de obtener valores de temperaturas promedio diarias del presente hasta el 2050, para las distintas regiones en la zona centro sur de Chile considerando el escenario SSP5.

1.3.5. Estudios de consumo de leña y la integración de la variable temperatura

Dentro del estudio bibliográfico realizado, se encontró una investigación realizada en la universidad de Berlín. En este estudio se consideró la proyección de las emisiones de MP 2,5 para el año 2050, teniendo en consideración variables económicas como demográficas, al igual que el estudio presentado con anterioridad del CR^2 . Sin embargo, dentro de su trabajo incluyen distintas variables para complejizar su investigación, siendo una la temperatura exterior de un hogar.[33]

En el desarrollo metodológico presentado en el estudio, la forma más simple de integrar la temperatura al consumo de leña al interior de un hogar, es construir un factor de corrección que contabilice el efecto de la temperatura como variable de decisión en el consumo de leña, es decir, ver la cantidad de días que se debería utilizar leña en el hogar según la temperatura

exterior. La Organización Mundial de la salud (OMS) considera como temperatura de confort mínima [16°C], de la misma forma, el criterios de construcción sustentable establecen como criterio una temperatura mínima de 15°C (referencia Construcción sustentable) como temperatura de confort. Según otras referencias, Song et al. (2012), se utiliza como temperatura base 18°C], de forma similar en Ranson et al.(2014) se muestra que el punto mínimo de consumo de energía varia entre 12-22 [°C]. [33][34]

El factor de corrección permite comparar las temperaturas en los años futuros versus lo que ocurre con las temperaturas del año presente, por lo que queda definido como muestra la ecuación 3.1:

$$F_{C_{a,r}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{a,i,r}}{\sum_{i=1}^n D_{ap,i,r}} \quad (1.7)$$

Donde:

- $F_{C_{a,r}}$: Factor de corrección de temperatura para el año a, para la región r
- $D_{a,i,r}$: Toma valor 1 si en la región r la temperatura el día i del año a, es menor a la temperatura de confort.
- $D_{ap,i,r}$: Toma valor 1 si en la región r la temperatura el día i del año presente ap, es menor a la temperatura de confort.

La corrección actúa como un factor de penetración en el uso diario de calefacción en los hogares, es decir compara los días, en un año, en los que se prendió la estufa en el tiempo presente, esto contrastado con los días que se prenderá la estufa en los años futuros. El problema con utilizar una temperatura confort y una temperatura exterior homogénea para una región determinada, es que la variable de los grados temperatura, será igual para todas las viviendas dentro de la misma región. Además, se estaría considerando el mismo uso de leña para las casas que no alcancen la temperatura confort seleccionada. Una opción es utilizar un factor de corrección donde se cuantifique la magnitud del cambio de la temperatura diaria, para aquellos días en que la temperatura es menor a la de confort.

El nuevo factor de corrección será la diferencia entre la temperatura de confort con la temperatura promedio diaria (con temperatura confort 15[°C]), lo anterior para todos los días con una temperatura menor al confort mínima propuesta. No obstante, desde una perspectiva del comportamiento de las personas se evidencia que este procedimiento tiende a sobre estimar el efecto del clima sobre el consumo de leña, esto porque se considera que las calefacción no se utilizaría para días con temperaturas promedios diarias mayores a la temperatura de confort y para eso ocurra, las personas deberían ser sensibles a este tipo de cambios. Sin embargo, en el corto plazo, existen hábitos, inercia en el consumo y abastecimiento de leña por parte de los hogares que generan que la variación del consumo sea menos sensible al esperado ante un cambio de temperatura. [37]

Si se considera este factor en la ecuación 1.7, queda redefinida como la ecuación 1.8:

$$F_{C_{a,r}} = \frac{((\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{a,r,i}) * X_{a,r,i} - (\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{ap,r,i}) * X_{a,r,i})}{(\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{ap,r,i}) * X_{a,r,i}} \quad (1.8)$$

Donde:

- $F_{C_{a,r}}$ Factor de corrección de temperatura para el año a, para la región r.
- $T_{comfort}$ Temperatura confort al interior de un hogar.
- $T_{a,r,i}$ Temperatura promedio diaria para el día i en al año a para la región r.
- $T_{ap,r,i}$ Temperatura promedio diaria para el día i en al año presente ap para la región r.
- $X_{a,r,i}$ Variable Binaria que toma el valor 1 si la diferencia de las temperatura es positiva o 0 cuando el valor es negativo, para el día i en la año a en la región r.
- ϵ Elasticidad demanda en el consumo de leña por la variación de un 1[°C] al exterior de un hogar.

En trabajo realizado en Alemania fijan el valor de ϵ en 0,5, el que representa que a medida que cambie un grado en la temperatura exterior, se consumirán 500 gramos más o menos de masa de leña, sin embargo este valor depende de condiciones específicas del país como aislamiento de las casas, calidad en la fuente de energía y condiciones de temperaturas particulares de la demográficas nacional. Así en el caso particular de esta memoria se estudiará una elasticidad de demanda en función de parámetros chilenos para lograr un resultado más acorde a la situación país.

1.3.6. Uso de los Antecedentes en el trabajo de investigación

En primer lugar se utilizará el modelo UKES-ssp5 para la obtención de proyecciones de temperaturas promedio diarias para distintas regiones en la zona centro sur de Chile. Luego se obtendrá nuevos valores de las emisiones de MP 2,5, utilizando las estimaciones entregadas por el CR^2 , a través de los factores de corrección. Para obtener los factores de corrección para el territorio nacional, se utilizará la metodología expuesta por la investigación de la universidad de Berlín, variando términos como la elasticidad de demanda, para lo cual se realizará un balance de energía tomando como base una casa chilena. Finalmente se realizará un análisis de sensibilidad al cambiar diferentes variables como la aislación de la casa, temperatura de confort y la humedad en la fuente de energía, de esta forma, poder obtener nuevos resultados y poder estimar la sensibilidad del modelo.

Capítulo 2

Proyección de las Temperaturas

El siguiente capítulo tiene como objetivo presentar la metodología para la obtención de las proyecciones de las temperaturas promedios diarias por región desde el presente hasta el 2050. En primer lugar se expone la metodología utilizada para obtener las proyecciones de las temperaturas de cada región, seguidamente se presentan los resultados, por región, de las proyecciones y finalmente una discusión. Es importante la generación de las proyecciones de temperaturas, ya que éstas, serán utilizadas más adelante para la variación del consumo de leña en función de la variable de temperatura, lo que permitirá obtener las proyecciones de las emisiones.

2.1. Metodología

A continuación se presenta la metodología que posibilitó el desarrollo del primer objetivo, en particular la obtención de las proyecciones de las temperaturas promedios diarias desde el presente hasta el año 2050 para distintas regiones. En específico se define las zonas geográficas del estudio y posteriormente la revisión del modelo UKES-spp5 obtenido del CMIP6, para obtención de sus salidas.

2.1.1. Definición zonas geográficas

En el caso de estudio de esta memoria se pretende generar las proyecciones de temperaturas de la zona centro sur del país, es decir las 9 regiones enumeradas a continuación:

- Región de O'Higgins
- Región del Maule
- Región del Ñuble
- Región del Bío-Bío
- Región del Araucanía
- Región de los Ríos
- Región de los Lagos
- Región de Magallanes

- Región de Aysén

Una vez delimitadas las regiones, se definió que los puntos a estudiar serían las ciudades capitales de cada una de las regiones. Esto debido a que poseen una mayor población y es más fácil encontrar una estación meteorológica para obtener datos históricos de las temperaturas regionales.

En la página del CR^2 se muestran las distintas estaciones meteorológicas nacionales, tanto estatales como privadas, en específico se pueden extraer su ubicación geográfica, como también se pueden extraer los datos históricos de las temperaturas promedio diarias de los últimos 50 años. En la figura 2.1 se puede ver la interfaz de la página y la ubicación de una de las estaciones en la región del Bío-Bío en la ciudad de Concepción, capital de la región.[35].

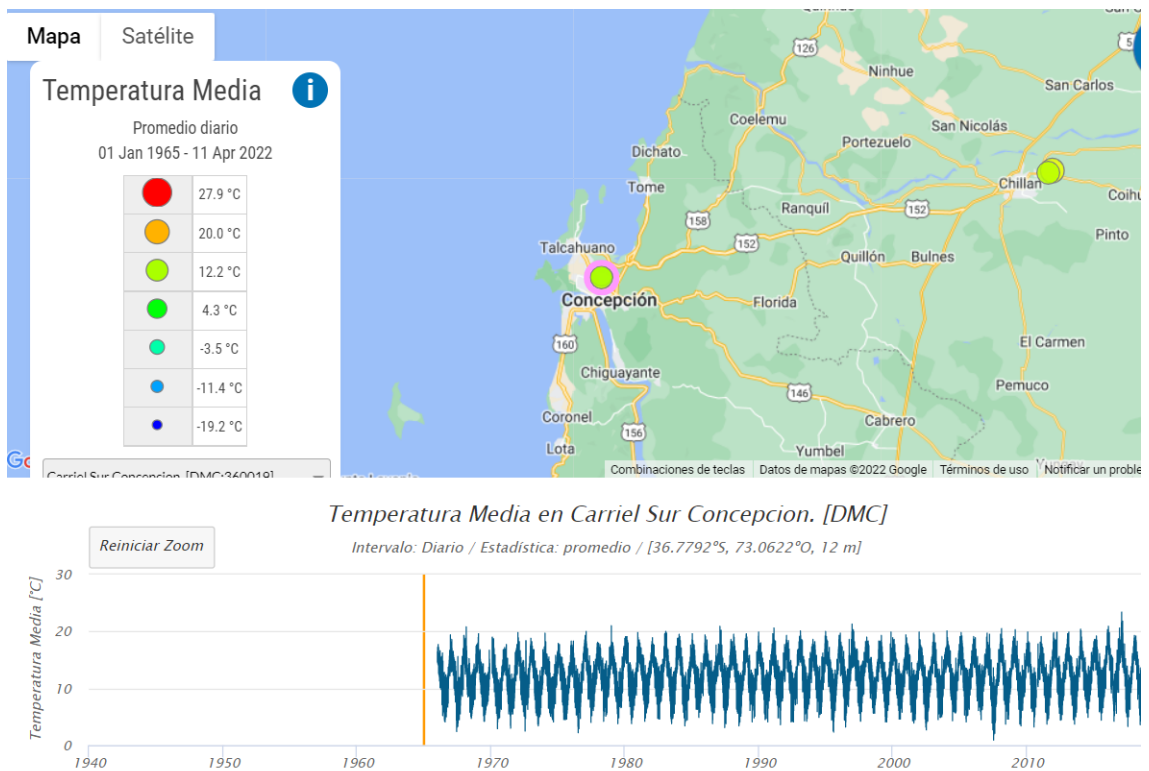


Figura 2.1: Estación Meteorológica Concepción [35]

En la tabla 2.1 se presentan los puntos, en grados decimales de las estaciones meteorológicas de las distintas regiones.

Tabla 2.1: Puntos geográficos, por región en grados decimales, de las estaciones meteorológicas

Región	Longitud	Latitud
O'Higgins	-70,744	-34,170
Maule	-71,239	-34,982
Bío-Bío	-73,049	-36,826
Ñuble	-72,103	-36,606
Araucanía	-72,598	-38,739
Los Ríos	-73,245	-39.814
Los Lagos	-73,133	-40,573
Aysén	-71,587	-49.876
Magallanes	-70,911	-53,154

2.1.2. Modelo CMIP6

Una vez definidas las localizaciones de los puntos a estudiar se continúa con la utilización del modelo CMIP6. Como se explicó con anterioridad, el CMIP es un conjunto de modelos de los cuales se pueden obtener diferentes variables atmosféricas. En este caso particular se busca obtener las temperatura promedios diarias a nivel del mar (sst). Para el particular caso de estudio, se escogió el modelo británico UKES, debido a que poseía el tamaño de grilla más pequeña, de alrededor 30 km, la cual permitió hacer una definición más exacta para la separación de la distintas regiones de la zona centro sur de Chile. Se definió el SSP5 como el escenario del CMIP6 a estudiar. Se decidió optar por el peor escenario, el que afectará más al aumento de temperatura atmosférico, en este caso el desarrollo impulsado por combustibles fósiles es el que presenta un mayor aumento de las temperatura promedio del planeta.

Para obtener los resultados del modelo fue necesario hacer el procesamiento de datos en el Centro de Computo de Alto Rendimiento de la universidad de Chile y utilizar la plataforma de Python para generar los gráficos de las datas históricas y las proyecciones. Para mayor detalle del código revisar Anexo B o abrir archivo enlazado Base de dato Proyección de temperaturas en el Anexo C Es importante señalar que el modelo trabaja con valores de 365 días por año, por qué fue necesario tomar supuestos para los años bisiestos, que serán discutidos más adelante. Los resultados entregados son una base de datos de las temperaturas promedio diarias de valores históricos (1950-2014) y de las proyecciones (2015-2049) de cada una de las regiones mencionadas con anterioridad.[36]

2.2. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos por el modelo, para las distintas regiones definidas por los puntos de la tabla 2.1 en las figura 2.2. Para un mayor detalle de la base de datos con los valores históricos y los valores de las proyecciones, revisar el Anexo c .

En la figura 2.2 se puede observar en la línea azul las temperaturas promedio diarias históricas desde 1950-2014 de la regiones, mientras que en línea roja se pueden observar las proyecciones obtenidas por el modelo UKES-spp5 generadas desde el 2015 al 2050.

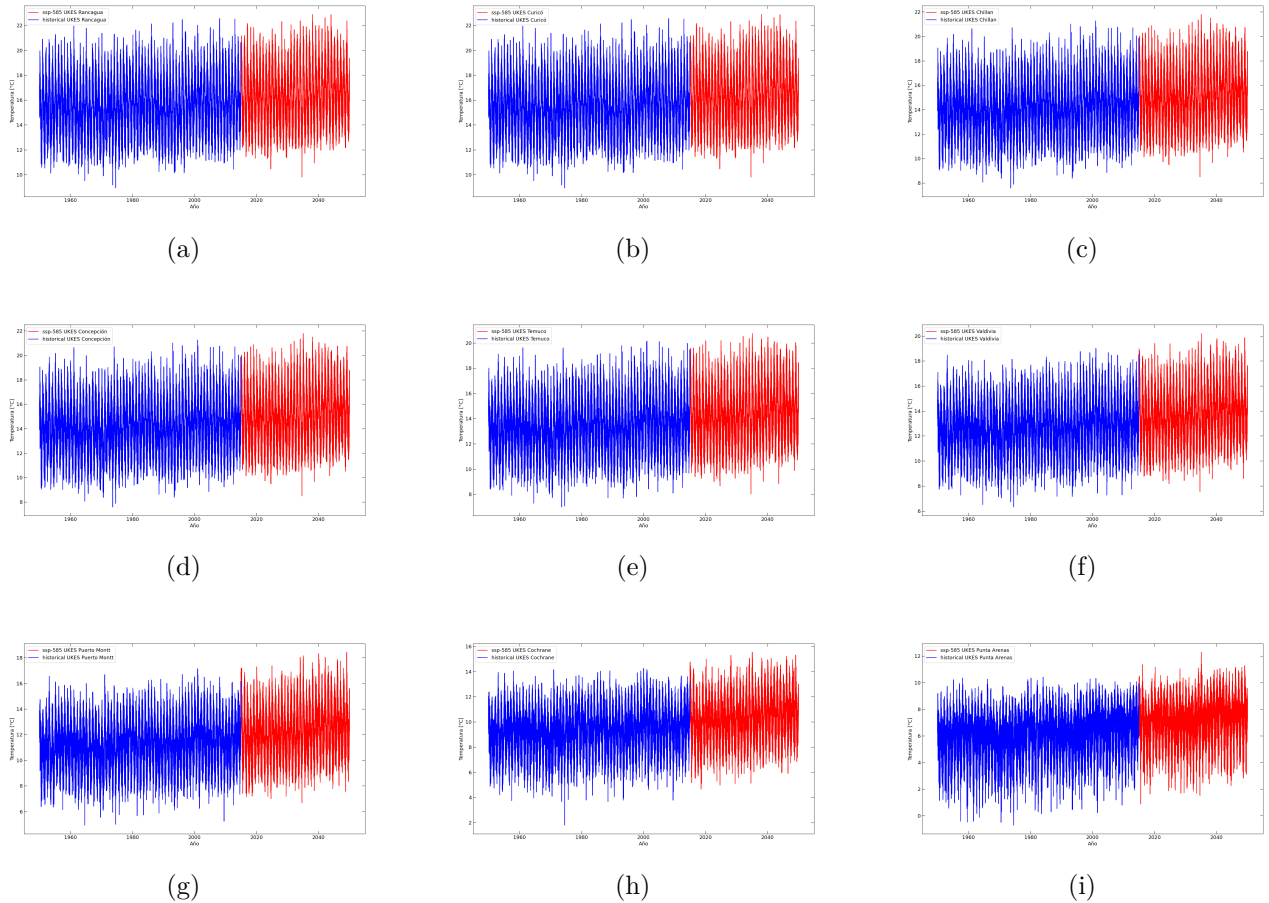


Figura 2.2: Temperatura promedio diaria para el periodo histórico (azul) y las proyecciones para los años 2015 a 2050 (rojo) a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

2.3. Discusión

A medida que se seleccione una región, que se encuentre más al sur en el territorio nacional, se aprecia en las figuras que el aumento de temperaturas mínimas es mayor. Se puede observar un aumento de la temperatura promedio del presente (2015) de hasta un 3,5 [°C] para el año 2050, para cada una de las regiones, esto por el escenario SPP5 escogido en el

modelo del UKES-spp5. Es importante tener en consideración que esto afectará los resultados del estudio, generando proyecciones del consumo y de las emisiones en el peor caso posible. Lo anterior quiere decir que los resultados estarán ligados a este supuesto, siendo estos un resultados obtenidos por el máximo aumento de la temperatura promedios diarias entregados por el modelo.

Es importante destacar que las regiones de O'Higgins con la región del Maule y la región Ñuble con la región del Bío-Bío, presentan la mismas temperaturas. Esto se debe al tamaño de grilla de los datos que entrega el modelo. Al tener en consideración el tamaño de las regiones, no se logró encontrar puntos entre esas regiones que pudieran diferenciar temperaturas. Lo anterior será importante más adelante, ya que las temperaturas proyectadas serán iguales en el caso para O'Higgins con Maule y para Ñuble con Bío-bío. Pese a lo anterior, como el consumo de leña es diferente para todas las regiones, las emisiones serán distintas para cada región, por lo que el resultado de estas proyecciones si serán diferentes y comparables.

El supuesto que se tomará de aquí en adelante es que las temperaturas proyectadas son iguales en las regiones mencionadas con anterioridad, sin embargo, esto no es real, ya que si se analizan las temperaturas históricas de cada una de las cuatro regiones, estas sí presentan diferencias entre ellas, por lo que las proyecciones de las temperaturas si deberían ser diferentes. Esto podría generar problemas en la obtención de resultados por lo que una posible solución para un resultado con mayor precisión es necesario utilizar un modelo del CIMP6 con una grilla menor, no obstante no existe en la actualidad.

El modelo del UKES entrega valores para 365 días ignorando los casos en que los años tienen 366 días en total. Para obtener los datos de las proyecciones para los años bisiestos fue necesario hacer un ajuste en los resultados, el cual consintió en repetir el ultimo valor del 28 de febrero para el día 29 del mismo mes, de esta forma se consiguió suponer una temperatura promedio diaria para el día faltante. Respecto de lo mencionado es importante tenerlo en cuenta, debido a que para los futuros resultados se tendrá en consideración los años bisiestos para los cálculos. A pesar de ser una temperatura supuesta, no generará grandes cambios en los resultados ya que la variación de un promedio de temperatura diaria con respecto a su día siguiente no es significativa estando dentro de la misma estación del año, en este caso verano.

Una situación a discutir respecto a los resultados obtenidos con las proyecciones de las temperaturas, son las fallas presentes en el modelo utilizado. Según bibliografía el modelo ssp 585 UKES presenta un error de al menos el $\pm 5\%$, aunque esto se podría verificar al comparar los resultados obtenidos de las proyecciones, con los datos históricos que se tienen por ejemplo para el año 2020.

Finalmente se logró encontrar valores para los promedios diarios de temperatura para los próximos 30 años. Los resultados obtenidos de las proyecciones de las temperaturas, serán utilizados en el capítulo 3 para lograr corregir el consumo de leña por vivienda en función del aumento de las temperaturas a través del tiempo.

Capítulo 3

Factores de corrección

En el siguiente capítulo se presenta la inclusión de la variable temperatura al consumo de leña a través de un factor de corrección. En particular, se expone la metodología desarrollada, en la que se utilizó las base de datos de las proyecciones de temperaturas de las regiones, para generar Factores de Corrección que permitan cambiar la proyección del consumo de leña por vivienda en función de la variable temperatura exterior. Una vez desarrollada la metodología, se presentan los resultados obtenidos a través de gráficos y una tabla resumen para finalizar con un discusión.

Los factores de corrección cumplen la función de corregir las proyecciones del consumo de leña obtenidas por el estudio del CR^2 , de esta forma poder obtener la variación del consumo en función del aumento de temperatura exterior proyectado por los escenarios de cambio climático.

3.1. Metodología

Se realizó un estudio bibliográfico para encontrar una relación entre el consumo de leña interior de un hogar en función de la temperatura exterior de una casa. Se encuentran forma se puede corregir el consumo de leña obtenido por variables demográficas y económicas y poder incluir una variable meteorológicas como la temperatura.

En la universidad de Berlín se realizó un estudio para determinar distintas formas para encontrar un factor de corrección que relacionara la temperatura promedio diaria con el consumo de leña al interior de un hogar. De lo anterior, se determinaron dos formas de obtener estos parámetros en función de la base de datos de temperaturas promedios diarias. A continuación se presentan las descripción de los factores de corrección.[32]

3.1.1. Factor de corrección 1

La forma más simple de integrar la temperatura a la estimación de las emisiones es construir un factor de corrección que contabilice el efecto de la temperatura como variable de decisión en el consumo de leña, es decir, ver la cantidad de días que se debería utilizar leña en el hogar según la temperatura exterior. La OMS (referencia OMS) considera como temperatura de confort mínima [16°C], de la misma forma, el criterios de construcción sustentable establecen como criterio una temperatura mínima de 15°C (referencia Construcción susten-

table) como temperatura de confort. Según otras referencias, Song et al. (2012), se utiliza como temperatura base 18[°C], de forma similar en Ranson et al.(2014) se muestra que el punto mínimo de consumo de energía varia entre 12-22 [°C].[33][34]

En el caso de la investigación Alemana presentada en antecedentes, y para efectos de este trabajo, se determinó el supuesto de que sobre una temperatura de 15 [°C], los hogares no utilizan el sistema de calefacción en su hogar, por lo tanto, se definió que esta temperatura sería usada como temperatura de confort. Este supuesto es importante y será discutido en la sección discusiones del capítulo 3. El factor de corrección permite comparar las temperaturas en los años futuros versus lo que ocurre con las temperaturas del año presente, y que queda definido como muestra la ecuación 3.1:

$$F_{C_{a,r}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{a,i,r}}{\sum_{i=1}^n D_{ap,i,r}} \quad (3.1)$$

Donde:

- $F_{C_{a,r}}$: Factor de corrección de temperatura para el año a, para la región r
- $D_{a,i,r}$: Toma valor 1 si en la región r la temperatura el día i del año a, es menor a la temperatura de confort.
- $D_{ap,i,r}$: Toma valor 1 si en la región r la temperatura el día i del año presente ap, es menor a la temperatura de confort.

La corrección actúa como un factor de penetración en el uso diario de calefacción en los hogares, es decir compara los días, en un año, en los que se prendió la estufa en el tiempo presente, esto contrastado con los días que se prenderá la estufa en los años futuros. A forma de ejemplo si el año 2015 en la región de Aysén hubo 300 días donde la temperatura promedio fue inferior a la temperatura confort definida, y en el año 2030, fueron solo 285, la estimación del CLPV total para un hogar en la región de Aysen en el año 2030 se debe ponderar por $F_{C_{2030,Aysen}} = \frac{285}{300} = 0,95$.

Para la obtención de resultados se definió el año 2015 como el escenario presente, debido a que los datos de CLPV totales por región, son proyectados desde ese mismo año hacia el futuro, por lo que al calcular los factores de corrección se comparó la evaluación de la temperatura desde ese mismo año como presente hacia el futuro, como se explicó en el ejemplo anterior. Se presentan los resultados obtenidos para los Factores de corrección para cada región, como también de su comportamiento en el tiempo.

3.1.2. Factor de corrección 2

El problema con utilizar una temperatura confort y una temperatura exterior homogénea para la región, es que la variable temperatura, será igual para todas las viviendas dentro de la misma región. Además, se estaría considerando el mismo uso de leña para las casas que no alcancen la temperatura confort seleccionada. Una opción es utilizar un factor de corrección donde se cuantifique la magnitud del cambio de la temperatura diaria, para aquellos días en que la temperatura es menor a la de confort.

El factor de corrección será la diferencia entre la temperatura de confort con la temperatura promedio diaria (con temperatura confort $15[^\circ\text{C}]$), lo anterior para todos los días con una temperatura menor al confort mínima propuesta. No obstante, desde una perspectiva del comportamiento de las personas se evidencia que este procedimiento tiende a sobre estimar el efecto del clima sobre el consumo de leña, esto porque se considera que las calefacción no se utilizaría para días con temperaturas promedios diarias mayores a la temperatura de confort y para eso ocurra, las personas deberían ser sensibles a este tipo de cambios. Sin embargo, en el corto plazo, existen hábitos, inercia en el consumo y abastecimiento de leña por parte de los hogares que generan que la variación del consumo sea menos sensible al esperado ante un cambio de temperatura. [37]

Si se considera este factor en la ecuación 3.1, queda redefinida como la ecuación 3.2:

$$F_{C_{a,r}} = \frac{((\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{a,r,i}) * X_{a,r,i} - (\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{ap,r,i}) * X_{a,r,i})\epsilon}{(\sum_{i=1}^n T_{confort} - T_{ap,r,i}) * X_{a,r,i}} \quad (3.2)$$

Donde:

- $F_{C_{a,r}}$ Factor de corrección de temperatura para el año a, para la región r.
- $T_{confort}$ Temperatura confort al interior de un hogar.
- $T_{a,r,i}$ Temperatura promedio diaria para el día i en al año a para la región r.
- $T_{ap,r,i}$ Temperatura promedio diaria para el día i en al año presente ap para la región r.
- $X_{a,r,i}$ Variable Binaria que toma el valor 1 si la diferencia de las temperatura es positiva o 0 cuando el valor es negativo, para el día i en la año a en la región r.
- ϵ Elasticidad demanda en el consumo de leña por la variación de un $1[^\circ\text{C}]$ al exterior de un hogar.

Se consideran las diferencias positivas con la variable discreta $X_{a,r,i}$, ya que se asume que los días en que la temperatura promedio diaria es menor a la temperatura de confort son los días que se prende la estufa para calefacción los hogares y se asume que esos son los días que generan un consumo de leña. En el estudio bibliográfico se encontraron diferentes valores para el ϵ , particularmente valores entre 0,3-0,8 que representa una variación en el consumo de leña por vivienda de entre 0,3 - 0,8 [kg de madera] por la variación de un $1[^\circ\text{C}]$ de la temperatura exterior.

En trabajo realizado en Alemania fija el valor de ϵ en 0,5, sin embargo este valor depende de condiciones específicas del país como aislamiento de las casas, calidad en la fuente de energía y condiciones de temperaturas particulares de la demográficas nacional. Así en el caso particular de esta memoria se procedió a calcular una elasticidad de demanda en función de parámetros chilenos para lograr un resultado más acorde a la situación país.

Obtención del parámetro: Elasticidad de demanda del consumo de leña (ϵ)

Para conocer la demanda en el consumo de leña para el caso particular de un hogar chileno fue necesario realizar un balance de energía, para esto se tomaron los siguientes supuestos:

1. Pérdida de calor a través de paredes planas

Para la transferencia de calor se consideró una pared plana que separa dos fluidos en movimiento en donde se quiere conocer la pérdida de calor que va desde el fluido caliente al frío. El calor total se calculará como el calor entregado por el aire caliente al interior de la casa transferido desde las paredes internas a las paredes externas de acuerdo a la ley de enfriamiento de Newton, la que, en régimen estacionario, se transmitirá por conducción y convección (natural o forzada) a través de la pared como se muestran la siguiente ecuación 3.3 [38]:

$$Q = U_t * A_{sup}(T_{out} - T_{in}) \quad (3.3)$$

Donde:

- Q = calor entregado por el aire caliente al interior de la casa transferido desde la pared interna a la pared externa.
- U_t = Coeficiente global de transferencia de calor.
- A_{sup} = Área de la superficie.
- T_{out} = Temperatura al exterior de la casa.
- T_{in} = Temperatura al interior de la casa.

El coeficiente global de transferencia de calor U_t puede obtenerse como inversa de la resistencia térmica total quedando definida como la siguiente ecuación 3.4:

$$\frac{1}{U_t} = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}} + \frac{\Delta x}{k} \right) \quad (3.4)$$

Donde:

- U_t = Coeficiente global de transferencia de calor
- $\frac{1}{h_{out}}$ = Resistencia térmica a la transmisión de calor desde el aire al exterior de la pared.
- $\frac{1}{h_{in}}$ = Resistencia térmica a la transmisión de calor desde el aire al interior de la pared
- $\frac{\Delta x}{k}$ = Resistencia térmica a la transmisión de calor por conducción dentro del muro

Para el cálculo de las coeficientes de transferencia de calor h_{in} y h_{out} fue necesario hacer un cálculo de adimensionales, mientras que para los valores del grosor de las paredes (Δx) y la conductividad del material (k) se tomaron supuestos en el tipo de casa seleccionada. Ambas cálculos serán explicadas a continuación.

2. Cálculo de coeficientes de convección del aire a través de números adimensionales.

A continuación se presentaran las ecuaciones utilizadas para la obtención de los valores adimensionales y sus principales resultados. Sin embargo en el Anexo D se presenta una

memoria de cálculo, en la cual se explican en mayor detalles los supuestos y geometría para la obtención de los resultados presentados en esta sección.

En el caso del aire al interior de la casa, el coeficiente h_{in} , que representa el termino de convección, es calculado con la Correlación de Churchill y Chu que se puede observar en la ecuación 3.5. En el caso del h_{in} , se asumió una convección natural en una placa plana para obtener el número de Nusselt. En este caso se consideró que el largo característico sería el alto de las paredes considerando que la velocidad del flujo era ascendente al interior de la casa. (Nu_L). [38]:

$$Nu_L = (0,825 + \frac{0,387 * Ra_L^{1/6}}{(1 + \frac{0,492}{Pr})^{8/27}})^2 \quad (3.5)$$

Mientras que en el caso de la temperatura al exterior de la casa el h_{out} de convección, es calculado con la siguiente analogía, asumiendo una convección forzada para una placa plana para el cálculo del número de Nusselt. Se consideró que, para este caso, el largo característico sería el largo de las paredes, ya que se tomo como supuesto que el viento choca de forma directa con la pared frontal de las casas [38]:

$$Nu_L = (0,037 * Re_L^{4/5} - 871) * Pr^{1/3} \quad (3.6)$$

Una vez determinado el valor de Nu_L se puede obtener el valor de los coeficientes de convección h_{in} y h_{out} con la siguiente ecuación 3.7:

$$h = \frac{Nu_L * k_a}{L} \quad (3.7)$$

Donde:

- h =Coeficiente de convección [$W/m^2\text{°C}$]
- k_a = conductividad del aire [$W/m\text{°C}$]
- L = Largo característico [m]

Para los valores de la conductividad del aire k_a se tomarán supuestos de las temperatura que se explicarán mas adelante, así también para el valor del largo característicos L , ya que estos dependen de la geometría de las áreas de las paredes y el techo de la casa que serán explicadas en la sección 3. Tipo de casa. Los valores obtenidos para los distintos h de convección fueron :

- $h_{paredesinternas} = 1,82 [W/m^2\text{°C}]$
- $h_{paredesexternas} = 8,59 [W/m^2\text{°C}]$
- $h_{Techointernas} = 1,92 [W/m^2\text{°C}]$
- $h_{Techoexterno} = 8,59 [W/m^2\text{°C}]$

Estos valores fueron comparados con H de convección obtenidos por bibliografía. Un ejemplo es el obtenido en un ejercicio en el Cengel, en donde analizan un caso de convección externa forzada, en el que calculan los valores de los coeficientes de convección para poder derretir

el hielo que se forma en un parabrisas con aire caliente al interior del auto. Los resultados reportados para los coeficientes de transferencia de calor por convección en este ejercicio son [38]:

- $h_{parabrisasinterno} = 48,6 [W/m^2\text{°C}]$
- $h_{parabrisaseexterno} = 51,75 [W/m^2\text{°C}]$

3. Tipo de casa (Áreas, aislación térmica, tipo de materiales).

Para determinar el tipo de casa se buscó en bibliografía el tipo de casa entregada por el gobierno como viviendas sociales, unificar los cálculos y utilizar el escenario más negativo. Lo anterior permite simplificar los cálculos, como también obtener una elasticidad de demanda sobre estimada, esto será discutido más adelante, debido a que considerar que todas las viviendas son iguales, podría generar cambios en los resultados obtenidos.[39]

En estas viviendas sociales se busca evaluar la eficiencia térmica de un proyecto que desarrolló la producción de paredes de madera aglomerada, cuya conductividad térmica es de aproximadamente $0,0852 [W /m K]$. En la figura 3.1 se puede observar una vivienda social típica entregada por el gobierno chileno, la que posee dos ventanas frontales de vidrio de $0,5 [cm]$ de grosor, un techo de aluminio de $5 [mm]$ de espesor, y una puerta del mismo material y grosor que los termopaneles. Junto a ello, en la figura 3.1 se pueden observar las dimensiones de la construcción.[39]

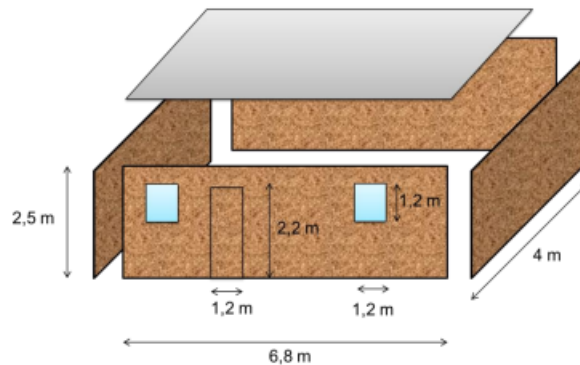


Figura 3.1: Vivienda social

4. Condiciones meteorológicas

- Temperatura: Se asume que la temperatura al interior de la casa se mantendrá fija en la temperatura de confort mantenida, mientras que la temperatura exterior será variable. Para el caso particular del cálculo del balance de calor, se discretizó el consumo de leña en función de la variación de la temperatura exterior por horas, para lograr obtener el calor necesario para mantener la temperatura de confort al interior de la casa para cada hora transcurrida durante un día.
- Viento: Para hacer el cálculo de los adimensionales se asumieron condiciones del viento como su velocidad, tomando de referencia la velocidad promedio en invierno $13 [km/hr]$.

Además, se asumió que la dirección del viento era fija y chocaba con la casa por su cara frontal. Las propiedades del viento se dejaron variable según las temperaturas al exterior de la casa.

Condiciones de operación

- Se asumió que para todas las casas se utilizaría el mismo tipo de tecnología con una eficiencia de operación al 100 % . Este supuesto será discutido más adelante pues los resultados obtenidos depende de forma directa de este supuesto.[33]
- Se utilizará una humedad del 20 % en la madera igual para todas las viviendas, así también una eficiencia de la combustión del 100 %. Estos supuestos también serán discutidos más adelante ya que el mercado nacional entrega diferente información sobre la calidad de la madera y el porcentaje de humedad en su interior, lo cual afecta directamente al poder calorífico entregado por la leña.[33]

En el Anexo D se puede observar una memoria de cálculo que se realizó para la obtención del valor de elasticidad de demanda, en el que se muestra un ejemplo para la obtención de resultados siguiendo los siguientes pasos:

- Cálculo de los coeficientes de convección forzada y natural.
- Demanda energética para conservar la temperatura de confort al interior de la casa variando la temperatura exterior.
- Obtención de la cantidad de fuente de combustible de leña para el abastecimiento energético.

Una vez realizado el balance de energía y la obtención de la elasticidad de demanda, de la ecuación 3.2 se obtienen los distintos valores para los Factores corrección 2 a través de un código en Python que se muestra en el Anexo E Con los datos obtenidos se generó una base de datos como también gráficos que describen el comportamiento de los resultados hacia el futuro.

3.2. Resultados

3.2.1. Factor de corrección 1

Se presentan un resumen de los resultados obtenidos para las distintos factores de corrección 1 calculados con la ecuación 3.1 presentada en la metodología en la tabla 3.1. Para un mayor detalle de los resultados, revisar Anexo E

Tabla 3.1: Resumen valores factor de corrección 1 para cada región

Años	O'Higgins	Maule	Ñuble	Bío-Bío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes
2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2020	0,719	0,727	0,886	0,886	1,013	1,096	0,930	1,000	1,000
2025	0,702	0,785	0,866	0,866	0,958	1,031	0,950	1,000	1,000
2030	0,926	0,926	0,965	0,965	0,975	1,004	0,950	1,000	1,000
2035	0,851	0,851	0,901	0,901	0,899	0,946	0,877	0,992	1,000
2040	0,983	0,992	0,886	0,886	0,870	0,915	0,855	1,000	1,000
2045	0,645	0,727	0,792	0,792	0,836	0,962	0,925	1,000	1,000
2049	0,860	0,793	0,822	0,822	0,887	0,919	0,855	0,989	1,000
Promedio	0,868	0,868	0,904	0,904	0,936	0,945	0,968	0,999	1,000

En la fig 3.2 se exhibe el comportamiento de los factor de corrección para las distintas regiones para los próximos años. Para observar el comportamiento en mas detalle y para cada región revisar Anexo F

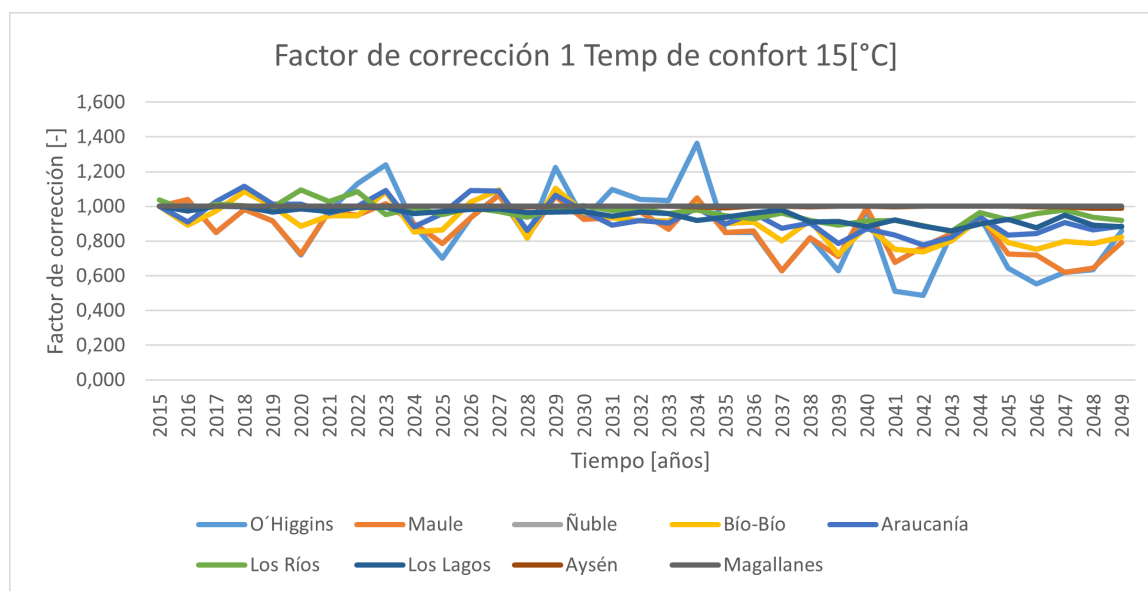


Figura 3.2: Tendencia factor de corrección por región 2015-2050

3.2.2. Factor de corrección 2

El valor obtenido para la elasticidad de demanda del consumo de leña en función de la temperatura obtenido por el balance de calor es de 0,451 [kg de madera/ °C]. En la figura 3.3 se puede apreciar el comportamiento del consumo en función de la temperatura, en donde la pendiente representa el valor de la elasticidad.

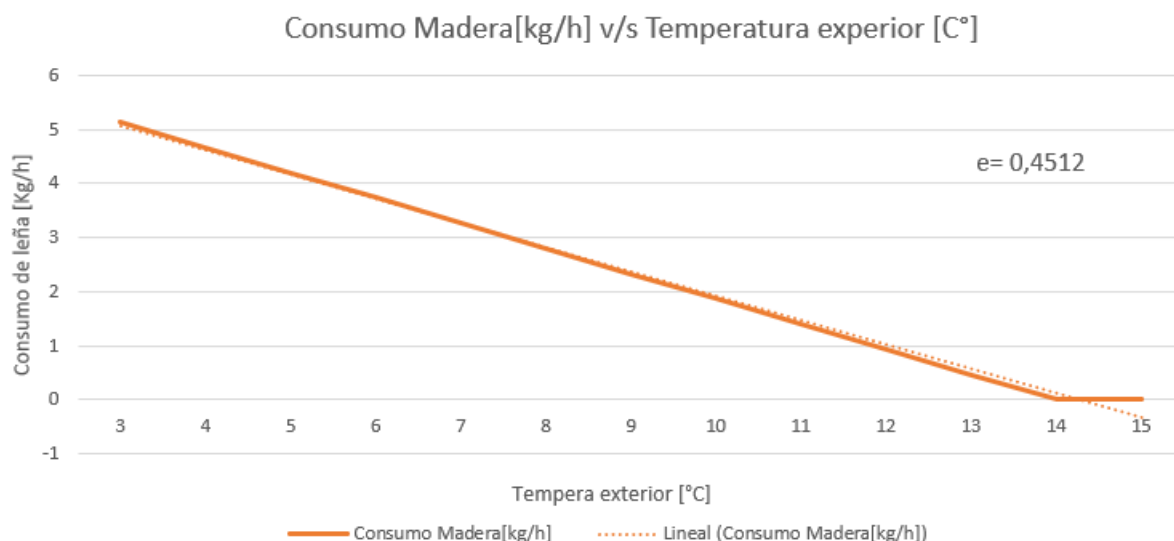


Figura 3.3: Elasticidad de demanda consumo de leña al interior de un hogar

En la tabla 3.2 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los distintos factores de corrección 2, obtenidos por la ecuación 3.2 presentada en la metodología. Para un mayor detalle de los resultados, revisar Anexo G

Tabla 3.2: Valores factor de corrección para cada región

Años	O´Higgins	Maule	Ñuble	Bío-Bío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes
2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2020	0,845	0,845	0,877	0,877	0,897	0,928	0,957	0,980	1,000
2025	0,810	0,810	0,907	0,907	0,937	0,962	1,011	1,023	1,017
2030	0,891	0,891	0,948	0,948	0,952	0,961	0,975	1,001	1,026
2035	0,913	0,913	0,918	0,918	0,917	0,923	0,932	0,956	0,991
2040	0,945	0,945	0,932	0,932	0,910	0,904	0,915	0,936	0,965
2045	0,725	0,725	0,801	0,801	0,816	0,838	0,887	0,946	0,974
2049	0,835	0,835	0,872	0,872	0,875	0,888	0,911	0,940	0,958
Promedio	0,949	0,949	0,955	0,955	0,958	0,961	0,972	0,989	0,998

A continuación se presenta en la fig 3.4 el comportamiento del factor de corrección para las distintas regiones. Para observar el comportamiento en mas detalle y para cada región revisar Anexo H

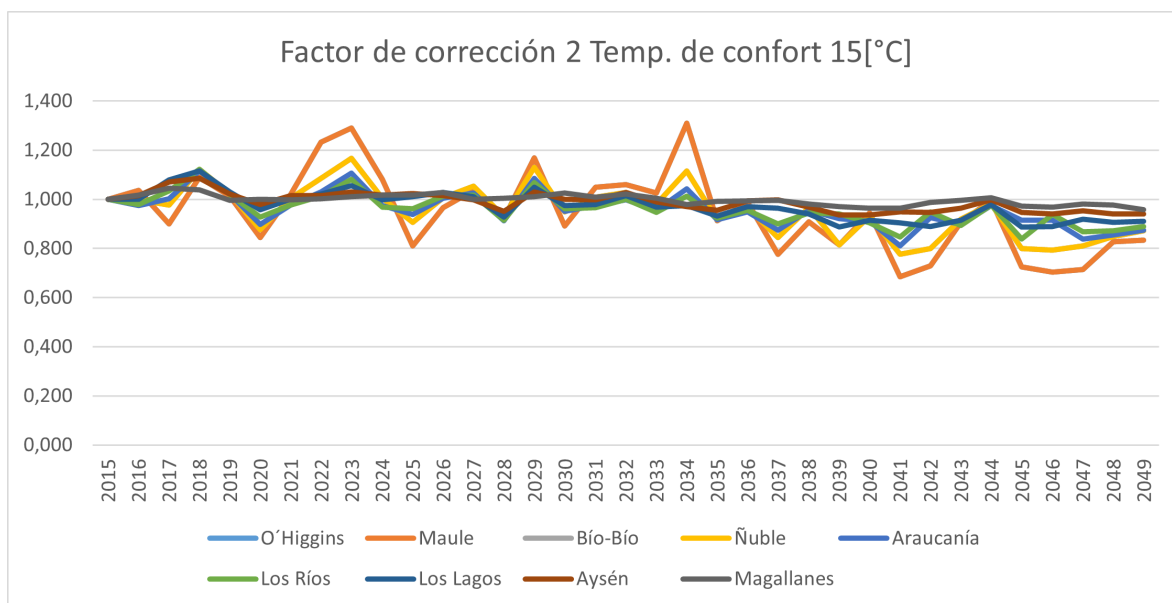


Figura 3.4: Tendencia factor de corrección por región 2015-2050

3.3. Discusión

Para el caso de factor de corrección 1 se puede observar en la Tabla 3.1 que, a medida que se avanza en el horizonte de tiempo, disminuye los valores del factor de corrección para las respectivas regiones. Exceptuando lo anterior, la región de Aysén presenta solo una pequeña variación en los últimos años 15 años, y la región de Magallanes se mantiene constante el valor durante todo el horizonte de tiempo. Lo anterior se debe a que al tomar una temperatura de confort de 15[°C], y el factor depende directamente de esto, las regiones más al sur del país, al presentar promedios de temperaturas más bajos, no se ven afectadas por el aumento de temperatura promedio final de 3,5[°C], ya que estos promedios seguirían estando más bajos que la temperatura confort seleccionada.

Se puede apreciar que, para las regiones de O´Higgins con Maule y para Ñuble con Bío-Bío, existen los mismos valores de factores de corrección, esto por consecuencia de las temperaturas proyectadas en el objetivo anterior. Para lograr una diferenciación en estos factores de corrección, se recomienda tomar las diferencias de aumento de temperaturas obtenidas por la proyecciones generadas y aplicarla a los datos históricos de las respectivas regiones. De esta manera se espera obtener diferentes proyecciones de las temperaturas promedios diarias y así lograr generar factores de corrección distintos y poder comparar. En el caso de este estudio se mantendrán estos factores de corrección, ya que las regiones poseen CLPV diferentes, por lo tanto, las emisiones generadas por región si serán diferentes y comparables. En la sección de reflexiones y proyecciones se generará una discusión respecto a este último punto.

Para el caso de los resultados obtenidos para el factor de corrección 2, se aprecia en la figura 3.3 el valor de elasticidad de demanda ϵ obtenido por el balance de calor. En la imagen se observar que el consumo toma el valor de 0 al llegar a 15 [°C]. Esto es porque se asumió que una vez obtenida la temperatura de confort no sería necesario entregar más calor, por lo que al tener una temperatura exterior igual a la interior, no se consume más leña. Además se

asumió una discretización por hora para ver la demanda energética necesaria, para cubrir el calor perdido por hora, y con esto obtener la masa de leña necesario para lograr y mantener la temperatura de confort a cada hora.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se pueden generar las siguientes discusiones de los supuestos. Lo primero es que en las temperaturas de confort no se mantienen fijas, ya que en la mayoría de los casos de estufa a leña, no se deja de generar calor una vez alcanzada la temperatura de confort, por lo que es importante tener claro que en el caso de estudio se tomó una situación ideal, en la que se consideró que la temperatura al interior de la casa se mantenía constante. El caso no ideal podría generar variaciones en el consumo de leña y por consiguiente en el valor de ϵ .

En segundo lugar, se consideró que todas las casas de las regiones serían igual, por lo que no existiría diferencia en el material de construcciones y tamaño de área. Si consideramos estos supuestos, es más riguroso para generar resultados uniformes para todo el territorio nacional, ahora bien, esto no es real ya que solo el 20 % de la población total de las regiones vive en este tipo de domicilio según el INE, pero se espera que este número aumente en los próximos 10 años.

En Tercer lugar, al pensar en la tecnología utilizada, se consideró una estufa salamandra para todos los hogares con una eficiencia del 100 %. El supuesto genera como resultado una elasticidad de demanda subestimada, en otras palabras, la variación del consumo de leña en función de la temperatura debería ser más grande, ya que se estaría produciendo menos calor por la misma masa de leña. A pesar de ser un supuesto fuerte, este se sensibilizará en el siguiente capítulo para generar una discusión.

Finalmente, el poder calorífico de la leña, depende directamente de la humedad presente en su interior. A mayor contenido de agua al interior de la leña, menor es su poder calorífico y mayor es la generación de MP 2,5. Según un estudio realizado por el Ministerio del Medio ambiente(MMA), el mercado de la venta de leña entrega opciones desde un 30 % hasta de un 15 % de humedad, además se exige la utilización de madera de humedad menor al 30 %. En el caso de estudio se utilizó una madera con una humedad del 20 % para cubrir un caso promedio de entre las opciones que ofrece el mercado, esto es importante, porque los resultados obtenidos están ligados de forma directa al contenido de humedad presente en la fuente del combustible y a la cantidad necesario de madera para suplir la necesidad energética de un hogar.

A pesar de las discusiones realizadas en torno a la obtención de la elasticidad del consumo de leña y el valor obtenido, se realizó una búsqueda bibliográfica en la que se encontraron valores variantes entre 0,3 y 0,8, mientras que en el estudio Alemán mencionan valores que rodean el 0,5. En función de lo anterior se cree que el valor obtenido por el balance de energía es factible, como también se considera adaptable a las distintas localidades del territorio nacional territorio nacional.[37].

Al igual que en el caso del factor de corrección 1, el factor 2 presenta un comportamiento similar en la figura 3.2 para cada una de las regiones. En la tabla 3.2 se puede observar el valor de los factores de corrección cada 5 años, que muestra la disminución de este en el ho-

rizonte de tiempo, alcanzando valores de hasta 0,835 para la región de O´Higgins y de 0,958. Comparando los valores para ambos factores de corrección, en el caso del factor de corrección 2, si se ven afectadas todas regiones, a diferencia de lo que ocurría con el factor de corrección 1, que para la región de Magallanes el valor quedaba constante. Pese a lo anterior, ambos factores de corrección presentan el mismo comportamiento a la disminución en el horizonte de tiempo y esto se ve reflejado al comparar las figuras 3.2 y 3.4.

Es importante destacar que, a pesar de que ambos factores tiendan a disminuir sus valores, existen años en donde se pueden apreciar valores mayores a 1. Lo anterior se debe a que en los años que ocurre esto, las proyecciones de las temperaturas dan valores más bajo respecto al tiempo presente, por lo que se supone que en esos años el consumo de leña debería ser mayor y por ende el factor de corrección tendría una valor mayor a 1. Una explicación a este fenómeno, es que el aumento de temperatura no es lineal en las proyecciones obtenidas por el modelo.

Al analizar con más detalle los valores de los factores de corrección de las Tablas 3.1 y la 3.2 se pueden comparar los promedios obtenidos en ambos casos. Para el caso del factor de corrección 2 estos valores son más cercanos 1. Lo anterior se debe a que el factor de corrección 2 incluye en su fórmula la diferencia de las temperaturas promedio diarias con la temperatura confort y esto representa que tanto más frío hizo ese día con respecto a la temperatura confort, además de la elasticidad del consumo de leña en función de la temperatura. Mientras que, por otro lado, el factor de corrección 1 solo considera si la temperatura promedio fue mayor o menor a la temperatura confort establecida.

Al comparar ambos casos, el factor de corrección 1 representa de manera confiable lo que ocurre con el consumo de leña en función de la temperatura exterior. Sin embargo, es un resultado sobre estimado, esto se debe a que no considera los casos en que el consumo de leña varía durante un día, ni como cambia el consumo en función al cambio de un grado a la temperatura. El resultado del factor de corrección 2 es un acercamiento más concreto a la realidad, ya que en su interior sí considera el cambio en la elasticidad de demanda. A pesar de lo anterior, hay que tener en consideración los supuestos anteriormente mencionados en la discusión, ya que estos podrían cambiar el valor del resultado y sobre estimar la influencia de la temperatura con el consumo de leña.

Continuando la discusión anterior, ambos factores de corrección cumplen su función. El factor de corrección 1 permite tener una idea general y más rápida de como afecta la temperatura en el consumo de leña, por lo que se recomienda utilizar en casos en donde se quiera realizar un estudio preliminar, sin embargo pierde factibilidad para regiones más al sur del país en donde no generan variaciones por las bajas temperaturas. Además, el factor de corrección 1 no depende de la elasticidad de demanda del consumo de leña, por lo que los resultados obtenidos no son variables en función de condiciones del tipo de vivienda, debido a esto, el factor de corrección 1 se puede generalizar para distintas zonas geográficas.

Por otro lado el factor de corrección 2 es más lento y difícil de obtener, ya que es necesario tener un mayor información como el valor de la elasticidad de demanda que se quiera utilizar, que incluso se puede complejizar más de lo que realizó en este estudio y tomar casos diferentes para los tipos de hogares, de esta forma poder realizar un análisis más en detalle

de las zonas geográficas y de como afecta la temperatura. A pesar de lo anterior el factor de corrección 2 muestra de mejor manera como se comportan las regiones a la incidencia del aumento de la temperatura en el consumo, incluso para aquellas regiones más al sur del país.

Una vez obtenidos los factores de corrección 1 y 2 para todas las regiones, en el horizonte de tiempo seleccionado para el caso de estudio, se presentarán en el capítulo 4 la utilización de cada uno de los factores obtenidos. De lo anterior se espera poder modificar los valores de las proyecciones para el consumo de leña por vivienda obtenidas por el estudio realizado por el CR^2 y de esta forma poder corregir las emisiones de MP2,5 futuras en función de la variable temperatura.

Capítulo 4

Proyección del consumo de leña y las emisiones generadas

En el presente capítulo se desarrolla la corrección en el consumo de leña con el uso de los factores obtenidos, para luego poder calcular las nuevas emisiones generadas por los consumos. En particular, se detalla la metodología del cálculo de los CLPV para cada región en el horizonte de tiempo, para luego obtener las emisiones de $MP_{2,5}$. Seguidamente, se presentan los resultados para los CLPV y las emisiones por región. A partir de ello, se generó una discusión de resultados.

4.1. Metodología

Para desarrollar este objetivo, en primer lugar, se calculó el nuevo consumo de leña por vivienda ($CLPV^*$), que está dado por la ponderación del CLPV, obtenido por el estudio del CR^2 , con los factores de corrección presentados en el capítulo anterior. Lo mencionado anteriormente se obtuvo de la ecuación 4.1[8]:

$$CLPV^* = CLPV * FC \quad (4.1)$$

Los resultados obtenidos son una base de datos de los $CLPV^*$ anuales para cada una de las regiones desde el presente (2015) hasta el 2050. Una vez obtenida la base de datos se procedió a hacer el cálculo de las emisiones generadas por los consumos de leña por vivienda, para lo que se utilizó la ecuación 1.6 presentada en antecedentes, esta vez considerando el CLPV corregido por el factor de emisión ($CLPV^*$):

$$ETOTAL_{i,j} = NA_{i,j} * FE \quad (4.2)$$

Donde

- $ETOTAL_{i,j}$: Emisiones de material particulado $MP_{2,5}$ en la comuna i , para el año de evaluación j en [ton/año]
- $NA_{i,j}$: Nivel de actividad en la comuna i , para el año j en [Kg/año]
- FE : Factor de emisión para MP generado por kilogramo de leña [g/Kg]

Para el caso de estudio se utilizó un factor de emisión de MP2,5 generado por una estufa a calefacción, una "salamandra vertical". El dato fue obtenido de un estudio realizado por el MMA en el que, se especifica su valor para madera proveniente de eucalipto y pino, con una humedad del 20%. A consecuencia de lo anterior se mantendrá el supuesto de que todas las tecnologías utilizadas en las viviendas de las distintas regiones son iguales, al igual que la humedad de la fuente de materia prima. En la tabla 4.1 se muestra los valores del factor de emisión. Los supuestos serán discutidos en la siguiente sección y las implicaciones que tienen en los resultados obtenidos.[40]

Tabla 4.1: Valores para contaminantes generado por la combustión de leña de eucalipto para leña seca (humedad menor del 15%) o para leña húmeda (humedad menor del 20%) en una salamandra de cañón vertical.

Contaminante	Concentración Media [gr/m ³ N]		Emisiones Medias [gr/kg leña]	
	Leña Seca	Leña Húmeda	Leña Seca	Leña Húmeda
MP2,5	250	315	5,7	7,2
CO	912	1026	20,9	23,3
NOx	49	42	1,12	0,96
SO ₂	nd	nd	-	-
CH ₄	302	196	6,9	4,4
HC	273	251	6,2	5,7
HAP	0,75	1,03	17,3	23,4
Aldehídos	22	-	0,51	-
Formaldehído	11,4	-	0,24	-

Para poder utilizar el factor de emisión es necesario realizar un cambio de unidades, ya que el consumo de leña, entregada por el estudio, está en [m² st], que es la unidad convencional para la venta de leña, que representa la madera que se alcanza apilar en el espacio de 1[m²] que puede estar trozada como entera.

Principalmente, la equivalencia en kg de leña de esta unidad es de 0,9 [m² st] es igual 25 [kg leña]. [41][42]

Volviendo a la ecuación 4.1 $NA_{i,j}$ representa el termino El Nivel de Actividad, que será obtenido de la ecuación 4.3:

$$NA_{i,j} = CLPV_{i,j}^* * NV_{i,j} \quad (4.3)$$

Donde:

- $NA_{i,j}$: Nivel de actividad en la comuna i, para el año j en [kg/año]
- $CLPV^*$ = Consumo de leña por vivienda para la región i, para el año j
- $NV_{i,j}$: Número de viviendas en la región i, para el año j

El número de viviendas se obtuvo del estudio realizado por CR^2 que propone una proyección para el aumento de población, y con lo anterior, el aumento del número de viviendas y la cantidad de personas al interior del hogar como se puede ver en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Proyección del número de viviendas por región y por año

Año	O'Higgins	Maule	Ñuble	Bío-Bío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes
2014	302812	353354	131527	575788	326244	87685	282078	36044	58354
2015	306290	357653	132240	578985	328049	88160	284486	36216	59233
2016	309425	361347	132549	580969	328975	88366	286191	36291	59619
2017	314533	366321	134097	589531	334128	89398	290532	36924	59911
2018	319655	371587	135190	595837	337695	90127	294360	37357	60573
2019	323580	375611	136035	600050	340339	90690	296692	37645	61046
2020	327958	380264	137352	605272	343743	91568	299720	38005	62044
2021	334046	386866	139823	613974	349613	93215	304255	38528	63278
2022	339186	392510	141798	621463	354587	94532	308207	38964	63997
2023	343737	397578	143465	628103	358958	95643	311866	39374	64572
2024	348501	402860	145200	634988	363473	96800	315653	39809	65230
2025	353191	408043	146887	641642	367842	97924	319350	40240	65907
2026	357825	413178	148550	648140	372123	99034	323003	40664	66599
2027	362359	418215	150176	654406	376276	100117	326580	41073	67284
2028	366784	423141	151763	660440	380304	101176	330080	41466	67965
2029	371080	427931	153301	666203	384184	102201	333476	41839	68616
2030	375341	432698	154833	671893	388033	103222	336857	42205	69271
2031	379491	437347	156317	677339	391746	104211	340142	42557	69900
2032	383515	441855	157746	682505	395311	105164	343322	42892	70513
2033	387498	446307	159154	687546	398820	106103	346448	43216	71106
2034	391319	450574	160501	692278	402174	107001	349438	43516	71673
2035	395093	454787	161826	696886	405466	107884	352376	43807	72232
2036	398307	458147	163402	703694	409494	108935	355488	44281	72821
2037	401361	461325	164914	710254	413354	109943	358460	44739	73386
2038	404357	464439	166402	716742	417153	110935	361385	45191	73942
2039	407464	467733	167790	722460	420666	111860	364202	45579	74484
2040	410409	470846	169107	727899	424003	112738	366876	45948	74993
2041	413311	473903	170407	733263	427300	113605	369505	46310	75492
2042	416159	476901	171687	738553	430546	114458	372090	46667	75982
2043	418971	479852	172954	743778	433753	115303	374644	47019	76471
2044	421619	482610	174147	748717	436786	116098	377046	47352	76918
2045	424224	485326	175330	753603	439785	116887	379420	47681	77369
2046	426781	487986	176490	758404	442727	117660	381749	48004	77809
2047	429295	490583	177632	763128	445631	118422	384035	48322	78237
2048	431753	493118	178754	767775	448482	119169	386278	48635	78656
2049	434055	495481	179811	772149	451165	119874	388387	48930	79054
2050	436302	497777	180843	776429	453794	120562	390441	49219	79429

En consecuencia, el nivel de actividad se calculó con la ponderación del CLPV* con el número de viviendas por región y por año. Finalmente, se generó una base de datos, una vez obtenido el NA y las Emisiones toles de MP2,5 por región en el horizonte de tiempo determinado.

4.2. Resultados

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos para el CLPV* por región bajo los distintos factores de corrección y su comportamiento en el tiempo. Luego se presentan los

resultados de las emisiones totales de MP_{2,5} emitidos por vivienda, para cada una de las regiones. Para un mayor detalle de los resultados y los datos obtenidos revisar el Anexo I.

4.2.1. Proyección Consumo de leña

En la figura 4.1 se puede observar el comportamiento del consumo de leña para cada una de las regiones, en la línea azul se observa el consumo de leña por vivienda sin considerar el efecto de la temperatura (Proyección del CR^2). Mientras que en la línea de color naranja se puede observar el comportamiento del consumo de leña corregido por el factor 1, como también, en la línea gris el consumo corregido por el factor 2.

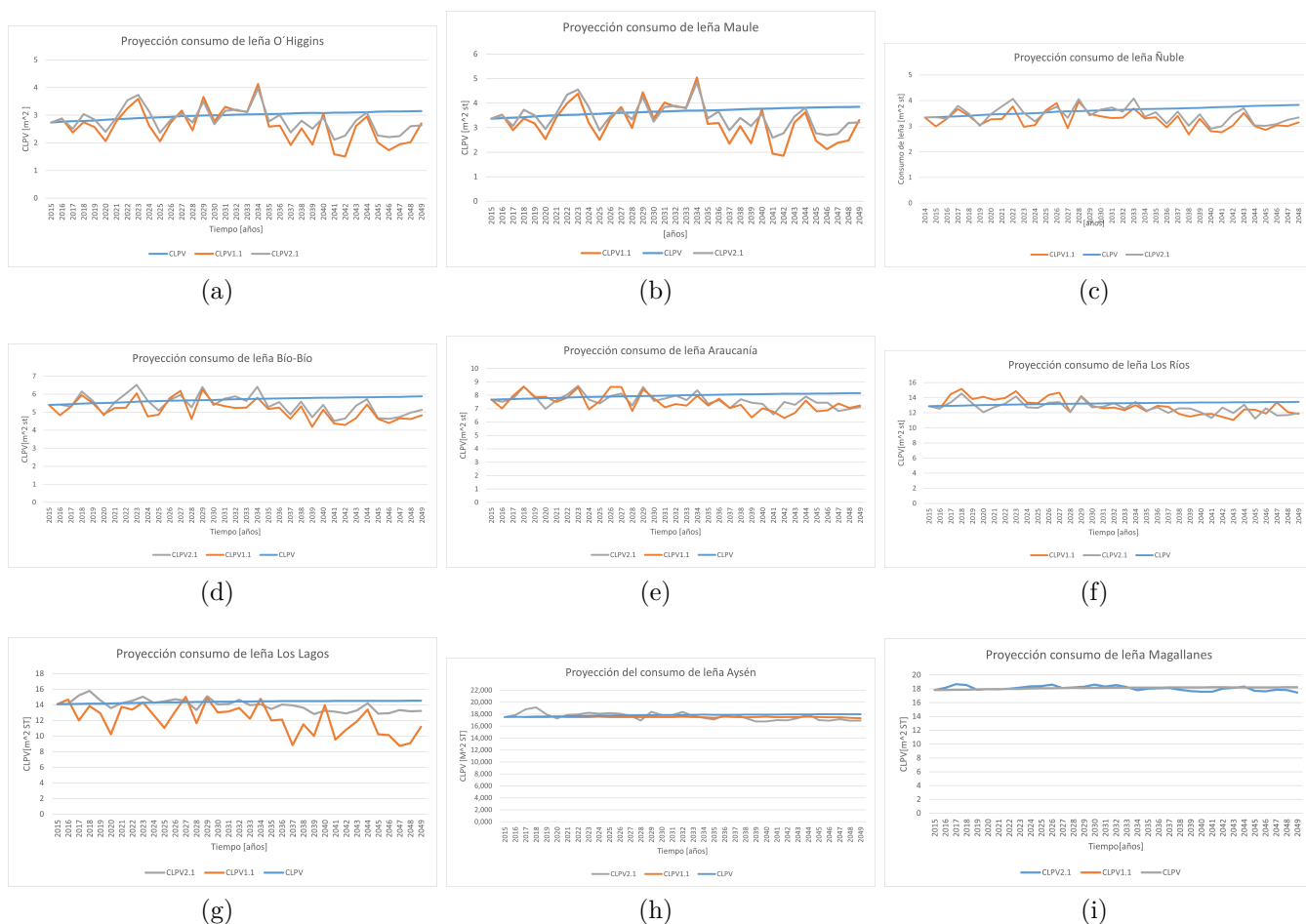


Figura 4.1: Consumo de leña por vivienda a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

4.2.2. Proyección Emisiones de MP 2,5

Una vez obtenido los consumos de leña por viviendas regionales, se procedió a calcular las emisiones de MP_{2,5} generadas por la quema de leña. Se presenta la variación de las emisiones según el aumento del consumo en el tiempo, y a la vez la variación de esta por el aumento de la temperatura atmosférica.

En la figura 4.2, la línea celeste representa las emisiones de MP2,5 [ton/año] para el caso de la proyección entregada por el estudio del CR^2 . La línea naranja representa la proyección realizada para el caso del factor de corrección 1, mientras que la línea gris para el caso del factor de corrección 2. Ambos casos representan la variación de las emisiones por el aumento de la temperatura y su variación en el horizonte de tiempo.

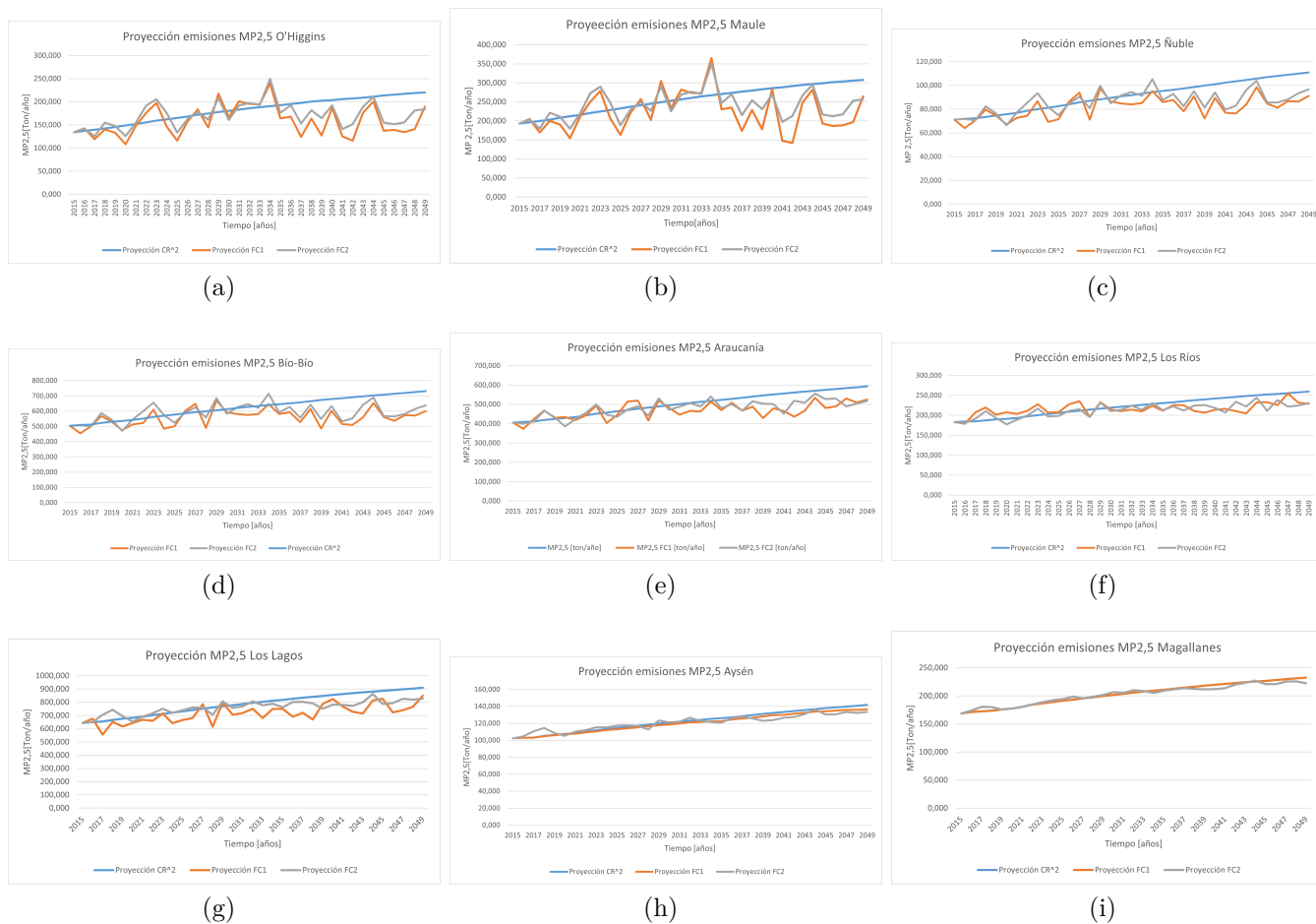


Figura 4.2: Emisiones Toteales de MP2,5 [ton/año] a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

Se presenta en la tabla 4.3 un resumen de la disminución, en porcentaje, de las emisiones totales de MP2,5, generadas por el consumo de leña, incluyendo la variable de temperatura, para el año 2050, de cada una de las regiones.

Tabla 4.3: Porcentaje de disminución con respecto a las emisiones totales de MP2,5 proyectadas por el CR^2 , generadas por el consumo de leña, incluyendo la variable de temperatura para el año 2050.

Región	FC1[%]	FC2[%]
O´Higgins	18	16
Maule	18	16
Ñuble	17	12
Bío-Bío	17	12
Araucanía	13	14
Los Ríos	8	11
Los Lagos	12	9
Aysén	1	6
Magallanes	0	4

4.3. Discusión

Una de las discusiones que se podría generar de los resultados, es como se ven afectados por los distintos supuestos considerados. Lo primero es pensar el factor de emisión utilizado, el que se mantuvo constante en el horizonte de tiempo. En consecuencia de lo anterior, se está asumiendo que a lo largo del horizonte de tiempo se emitirán la misma cantidad de masa de MP_{2,5} por la misma unidad másica de leña consumida, por lo que las emisiones totales, presentadas en este capítulo, podrían estar sobre estimadas o subestimadas. Un ejemplo de lo anterior es el escenario en el que existan mejoras en tecnologías de calefacción o una disminución en la humedad de la leña por un mejoramiento de las opciones que entrega el mercado hoy en día, esto provocaría una disminución en las emisiones generadas por el mismo consumo, ya que el factor de emisión sería más pequeño.

Otro supuesto para el cálculo del consumo de leña o de las emisiones, es el suponer la uniformidad tecnológica entre hogares del territorio nacional. Esto tiene una implicancia directa en las emisiones. El factor de emisión depende del tipo de estufa, como también en la eficiencia de la quema y el calor entregado, por lo que tiene una relación directa en el consumo, entre más eficiente sea la tecnología, menos leña será requerida para entregar la misma cantidad de calor, y a su vez las emisiones serán menores. En el caso de estudio se decidió unificar los resultados utilizando el mismo tipo de tecnología de calefacción con una eficiencia del 100 %. Los resultados entregados por este supuesto generan un escenario sub estimado para los consumos por región y las emisiones totales debido a que es imposible lograr una eficiencia al 100 %, como también suponer que todas las viviendas utilizan la misma estufa en sus hogares.

Además, se mantuvo el supuesto de utilizar la misma composición de combustible para todas las casas y su humedad. Esto claramente no es real, a pesar de que la mayoría de la población utilizan el eucalipto y el pino, no se puede esperar que el completo de la población utilice el mismo tipo de leña y tengan claridad de la humedad presente en la madera. Según estudio del Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT), 80 % de las personas en la región de Maule, utilizan leña en su calefacción y mencionan al eucalipto como el principal tipo de leña con una humedad mayor al 20 %, sin embargo no hay estudios que cuantifiquen el tipo de leña, la humedad que tiene y el número de población por región que lo utilicen. Esto podría generar cambios en las emisiones totales estimadas en este estudio ya que los factores de emisión, dependen del tipo de leña y la humedad en su interior.

Finalmente, existe un supuesto al momento de considerar el número de viviendas, lo primero es que se utilizan datos de un estudio previo, realizado por el CR^2 , por lo que se asume que los datos de sus proyecciones contienen una sobre estimación del número de viviendas por región, que dependen del aumento de los ingresos económicos como también del aumento de la población. Además dentro del estudio del CR^2 consideraron una variable de factor de penetración la cual no se consideró en este estudio. El factor de penetración hace referencia a que tanto porcentaje de las viviendas, por región, son las que efectivamente utilizan calefacción a leña para calentar sus hogares.

Este mismo factor lo consideran estacionario para un caso base, como también variable para otros escenarios en donde asumían una migración de personas a departamentos como también el cambio de uso de leña por otra fuente combustible. Pese a lo anterior en es-

te estudio no se consideró debido a que se encontraba fuera de los alcances y los intereses de estudio, ya que solo se quiere medir el efecto de la temperatura y como esta varían las emisiones, sin embargo es importante tener en cuenta que las emisiones totales estarán sobre estimadas considerando que todas las viviendas por región estimadas están consumiendo leña.

Dentro de los resultados obtenidos para el consumo de leña por región, se puede ver una tendencia a la disminución por efecto del aumento de la temperatura. Esto también se ve reflejado en las emisiones, las cuales también se ven disminuidas. En la tabla 4.3 se puede observar que para el año 2050 existiría una disminución de hasta un 18 % para las regiones de la zona centro como O'higgins y Maule, sin embargo, el efecto de la temperatura se vuelve menos relevante en regiones más al sur como Aysén y Magallanes, en donde la disminución de las emisiones alcanza solo un 6 %. Lo anterior ocurre debido a que a pesar de tener un aumento de la temperatura exterior de hasta 3,5 [°C], en las regiones donde las temperaturas promedios diarias son bastante más bajas a la temperatura de confort, este aumento no generaría cambios en el consumo de las personas y por ende tampoco en las emisiones generadas.

Analizando los distintos factores de corrección se puede apreciar en las figuras 4.1 que el CLPV2.1 presenta una menor variación con respecto al caso base CLPV, mientras que el CLPV1.1 se aleja más para la mayoría de las regiones. Sin embargo, esto deja de ocurrir para las regiones más al sur, como se puede ver en las figuras 4.1.h-4.1.i, en donde se puede observar que el CLPV 1.1 no presenta variación con respecto al CLPV, de otro modo se comporta el CLPV2.1 que presenta una variación perceptible respecto al caso base de CLPV.

Lo anteriormente mencionado, se puede explicar debido a que el Factor de corrección 1, solo considera si se encendió o no la calefacción dependiendo de si se alcanzó la temperatura de confort, por lo que en las regiones de Aysén y Magallanes, en donde la temperatura exterior, no logró superar la temperatura de confort, pese al aumento de temperatura, por lo que no se generan variaciones en el consumo de leña. No ocurre de la misma manera para el factor de corrección 2, el que considera la elasticidad de demanda de la leña dependiendo la variación de un grado la temperatura exterior, por lo que a pesar de no-sobre pasar la temperatura confort, sí se logra apreciar una pequeña variación en el consumo.

Es importante entender que, a pesar de que en el año 2050 existen variaciones del 0-18 % de las emisiones totales, no representan el máximo y el mínimo de las variaciones que se obtuvieron en los resultados. Las variaciones de temperaturas no son lineales, a pesar de tener una tendencias al aumento, existen años donde estos aumento de temperaturas pueden ser mayores que sus años siguientes, generando variaciones en los valores de los distintos factores de corrección. Lo anterior impacta en el consumo de leña lo que se puede ver representado en las figuras 4.1-4.2 que presentan las emisiones proyectadas para cada región. Para tener un mayor detalle de las variaciones por región, revisar el Anexo I.

Se puede ver en los resultados obtenidos, que existirá una disminución de las emisiones totales para cada región teniendo consideración la variable temperatura. Esto tiene sentido al tener en cuenta que una temperatura más cálida en el ambiente evitaría el uso de calefacción residencial para ciertos días del año. Por lo que los factores de corrección 1 y 2 presentan una conducta coherente con respecto a lo esperado. Pese a lo anterior es importante tener en cuenta, que el uso de leña en la casa no está estrictamente ligado con la temperatura externa

mediante un lazo de control automático. El control del combustible lo hace la persona, por lo tanto, si afuera se tiene 1 o 3 grados más, no necesariamente la persona será efectivamente tan sensible para poder alterar el consumo de leña. El ejercicio sigue siendo válido, pensando en la proyección de escenarios, sin embargo hay una conducta diferente entre la realidad versus los supuestos del modelo.

Finalmente, se puede observar variaciones importantes en el consumo de leña y sus emisiones por el impacto del aumento de la temperatura, sin embargo es importante tener en consideración los supuestos que se tomaron que sobrestiman el valor que podría tener este impacto. Se vuelve imperante buscar la forma de cuantificar la sensibilidad de los resultados a los cambios de algunos supuestos que serán estudiados en el capítulo 5.

Capítulo 5

Análisis de Sensibilidad

En este capítulo se presenta la sensibilidad del modelo a: cambios en la temperatura de confort, cambios en la aislación térmica de un hogar y cambios la humedad de la materia prima. Se presentaran los resultados obtenidos para cada una de las regiones en los distintos casos, generando gráficos y tablas resúmenes. Finalmente se presentará una discusión de los supuestos y los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios de sensibilidad.

Las variables para medir la sensibilidad del modelo fueron escogidas para determinar como se comportan los resultados, sí los supuestos tomados en los capítulos anteriores presentan variaciones. Unos de los supuestos más fuertes fue suponer una temperatura de confort de $15[^\circ\text{C}]$, debido a la bibliografía encontrada y lo determinado por la OMS, sin embargo se encontraron otras referencias donde esta temperatura de confort variaba entre los $13[^\circ\text{C}]$ y los $18[^\circ\text{C}]$. Otras medidas a evaluar en los supuestos, son los tomados en el balance de energía, en el que se aplicaron condiciones que dependían del tipo de casa, como también la calidad de la fuente de leña, es por esto que se decidió evaluar condiciones como la aislación térmica y el porcentaje de humedad presente en la leña.

5.1. Metodología

A continuación se presenta la metodología que posibilitó el desarrollo del cuarto objetivo. En específico se definen los cambios de temperatura confort para la obtención de los factores de corrección, se realiza un cambio en la aislación térmica y la humedad de la leña para el desarrollo en el balance de energía. Lo anterior para determinar la sensibilidad de los resultados a estas variaciones.

5.1.1. Cambio temperatura de confort

En el caso de estudio se determinó que la temperatura de confort de un hogar es de $15[^\circ\text{C}]$. Esta temperatura representa el valor en el que las personas no ven la necesidad de encender o seguir operando su estufa debido a que la sensación térmica durante el día no fue lo suficientemente baja. Este valor se determinó por un estudio realizado por la OMS, sin embargo existen otros estudios donde varían esta temperatura entre 12 hasta $18 [^\circ\text{C}]$, por lo que para poder analizar que tanto cambiará el consumo de leña se usaron estos valores de referencia para hacer la sensibilidad en el consumo de leña y las emisiones asociadas a su uso.[30]

Particularmente se desarrollaron los mismos pasos que en el objetivo 2 presentados en el capítulo 3. Se procedió a obtener nuevos resultados para los factores de corrección, en donde se cambio la temperatura de confort de 15 [°C]. De lo anterior se obtuvo nuevos valores para los factores de corrección 1 y 2 para el caso de 14[°C] y para el caso de 16[°C]. Para lograr el objetivo anterior fue necesario realizar cambios en el código presentado en el Anexo 3.1.

Luego de obtener los factores de corrección se calcularon los nuevos valores para los CLPV y sus respectivas emisiones. Para lograr lo anterior se trabajó con los nuevos valores pero con las mismas ecuaciones utilizadas en el capítulo 3 que se encuentran adjuntas al documento de la memoria. Se generaron nuevos gráficos y valores de factores de corrección con las nuevas temperaturas de confort y se compararon con las obtenidas al comienzo.

5.1.2. Cambio aislación térmica

Continuando con el análisis de sensibilidad, se decidió evaluar la opción de variar la aislación térmica utilizada en el balance de energía realizado en el capítulo 2. En el caso base se utilizó un aislante de poliéster en la paredes, por lo que para evaluar diferentes escenarios, se decidió cambiar este material dependiendo del tipo de escenario a evaluar. Dentro de los escenarios escogidos para variar la aislación térmica se consideró escenarios que incluyeran casos de peor aislación, por lo que se utilizó la conductividad de la madera sin un aislante térmico y solo el material de construcción. Lo anterior, para poder evaluar como afectaría la temperatura el consumo de leña a una casa mal aislada. Además, se decidió utilizar un caso en donde la aislación de la casa fuera mejor que la evaluada en el caso base, por lo que se consideró el aislante de lana de vidrio, en vez del material de poliéster que se utilizó en el caso base.

Para analizar el caso de una mejora en la aislación, se decidió evaluar un segundo escenario, ya que la diferencia en la conductividad del poliéster y la lana de vidrio se encuentran en los mismos rangos de magnitud, por lo que se consideró el caso en el que, además de cambiar a lana de vidrio, se incluyera aislación en las ventanas de la casa con aire estanco. De esta manera se puede comparar como afectará la temperatura al consumo de leña para un caso en donde la aislación de la casa es peor al caso base y uno donde la aislación es mejor y ver la diferencia en los resultados obtenidos.

Una vez definidos los materiales aislantes, se procedió a calcular los nuevos consumos de leña, dependientes de la temperatura en el balance de energía. Con esto, se obtuvieron nuevos valores para la elasticidad de demanda, los cuales entregaron nuevos valores para los factores de corrección. Es importante señalar que solo el factor de corrección 2 considera la elasticidad de la demanda en función de la temperatura, por lo que al cambiar la aislación térmica no se generan cambios en el factor de corrección 1. Lo anterior se conecta con la discusión generada en el Capítulo 3 sobre la validación de ambos factores, en la que se mencionó la versatilidad del factor de corrección 2, el cual es capaz de evaluar este tipo de cambios a través del balance de energía, generando resultados más acordes con lo que ocurre en la realidad.

Se obtuvieron valores de factores de corrección, para cada caso de aislante, con lo que se calcularon nuevos CLPV. Por su parte, una vez calculado los nuevos consumos, se obtuvieron la emisiones totales de MP2,5 para cada uno de los casos y para cada región. Se graficó el valor de las emisiones totales en el tiempo, como también, se realizó una comparación de la

variación en porcentaje de las emisiones totales, para el año 2050, entre el caso entregado por el estudio del CR^2 y los diferentes casos de aislantes térmicos.

5.1.3. Cambio humedad leña

Finalmente para terminar con el análisis de sensibilidad, se decidió variar la humedad de la leña que se utiliza para calefaccionar, con esto se tienen distintos poderes caloríficos dependiendo del agua al interior de la madera. Para el caso base realizado en el capítulo 2, en el balance de energía, se utilizó una madera con 20 % de humedad. Se estudiaron los casos en donde la humedad de leña fuera mayor, caso de un 25 % y de un 30 %, como también la opción en donde el agua presente en su interior fuera solo de un 15 %.[42]

Con los nuevos casos de estudio, se obtuvieron nuevos consumos de leña, dependientes de la temperatura en el balance de energía. Continuando con lo anterior, se obtuvo nuevos valores para la elasticidad de demanda que, en consecuencia, entregaron nuevos valores para los factores de corrección. Al igual que en el caso de la variación de la asilación térmica, este cambio, solo afecta al factor de corrección 2, debido a que solo este considera la elasticidad de demanda. Es importante mencionar que al cambiar la humedad de la leña cambiara también el valor del factor de emisión utilizado para el cálculo de las emisiones totales de MP 2,5.

Con los nuevos factores de corrección se calcularon nuevamente los CLPV, para cada uno de los casos mencionados con anterioridad. Una vez obtenido las variaciones en los consumos, se procedió a calcular las emisiones totales de cada una de las regiones en los mismos horizontes de tiempo. Con los nuevos valores, se generaron gráficos por región y para cada caso, para ver su comportamiento en el tiempo. Además, se realizó una tabla comparativa para los resultados del año 2050, y de esta forma, poder analizar la variación porcentual de las emisiones con respecto al caso entregado del CR^2 .

5.2. Resultados

Se presentaran los resultados obtenidos para cada uno de los casos considerados en el análisis de sensibilidad. Se presentará la variación con respecto a los factores de corrección, la elasticidad de demanda si corresponde y las emisiones totales de MP2,5 para cada uno de los casos. Además se plantearan discusiones parciales para cada uno de los casos de análisis de sensibilidad una vez mostrados los resultados.

5.2.1. Cambio Temperatura de confort

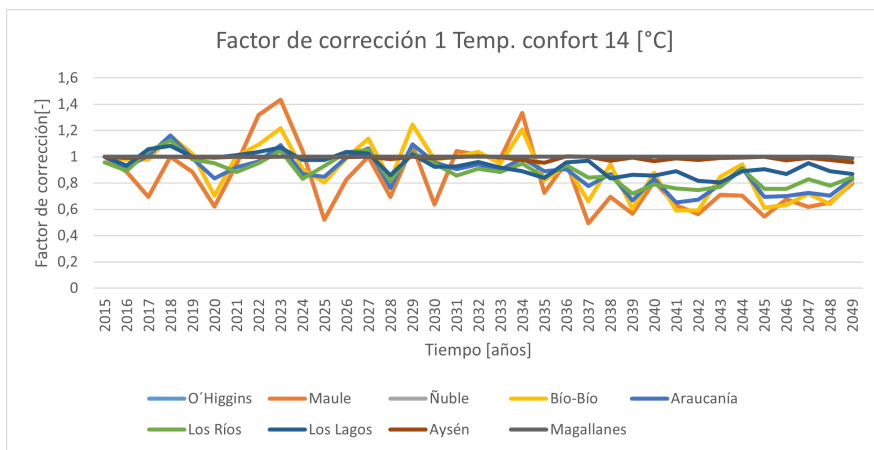
El caso base consideró una temperatura de confort al interior de un hogar de 15[°C]. Para analizar cómo se comporta el consumo de leña, al cambiar esta variable, se calcularon los valores de las emisiones totales si se consideraba una temperatura de confort para el caso de 14[°C] y para 16[°C]. Se presentaran los resultados de los factores de corrección 1 y 2 al cambiar esta variable y también se mostrara como cambia las emisiones totales para cada caso de temperatura como también para cada región.

5.2.1.1. Factor de corrección

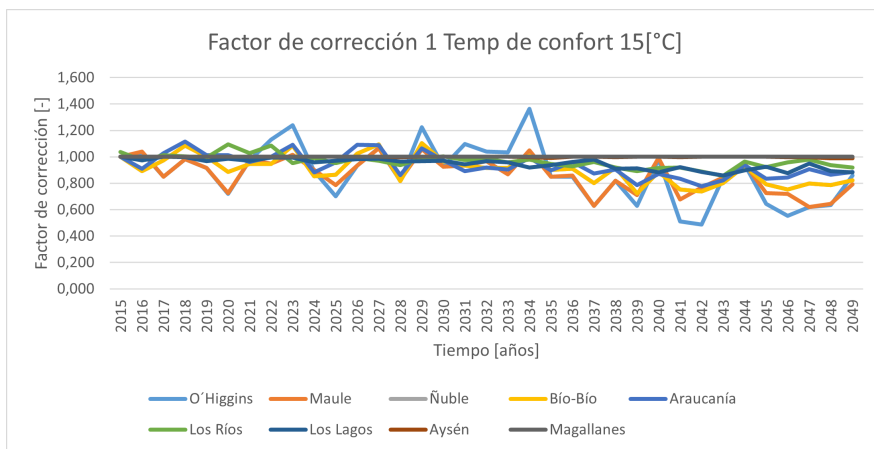
A continuación se muestran los resultados para los factores de corrección 1 y 2, variando la temperatura de confort al interior del hogar. Se mostrará de forma gráfica lo que ocurre para cada una de las regiones, considerando cada cambio de temperatura de confort.

Factor de corrección 1

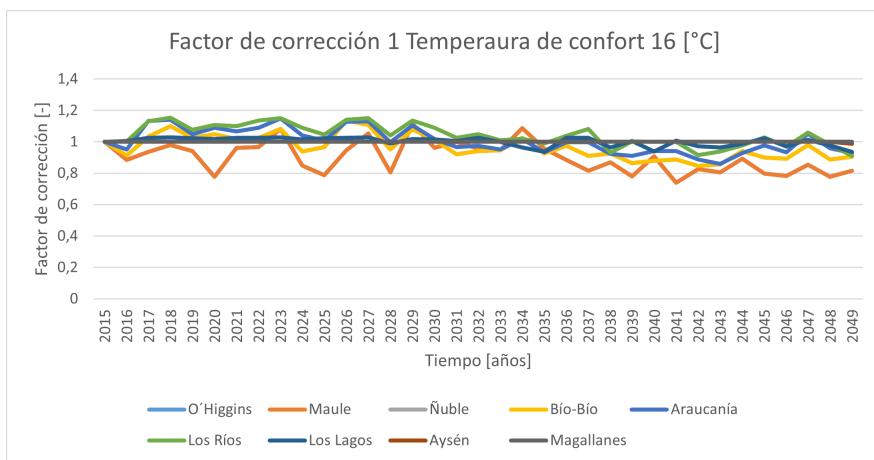
En la figura 5.1 se muestra el comportamiento del factor de corrección para el caso en el que se consideró una temperatura confort de 14, 15 y 16[°C]. Por un lado en el gráfico 5.1.a se muestra el comportamiento del factor de corrección para una temperatura de confort de 14 [°C] en el horizonte de tiempo, para cada una de las regiones, mientras que por otra parte, en la imagen 5.1.c se muestra lo que ocurre con el factor de corrección al considerar un valor de temperatura de confort de 16[°C]. Finalmente en el figura 5.1.b se puede observar el resultado para el factor de corrección obtenido en el caso base con una temperatura de confort de 15[°C], de esta forma se puede observar una comparación visual entre cada uno de los casos. Las líneas de colores en cada uno de los gráficos de la figura 5.1 representan las distintas regiones.



(a)



(b)



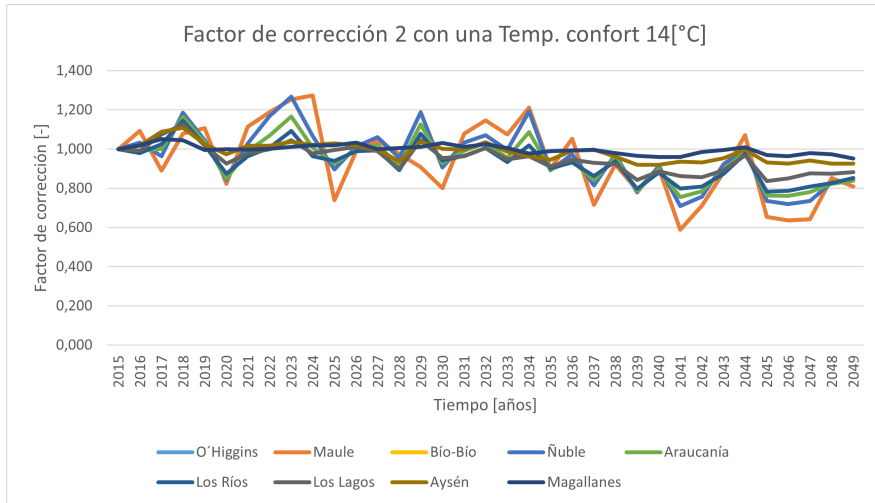
(c)

Figura 5.1: Factor de corrección 1: Sensibilidad temperatura de confort

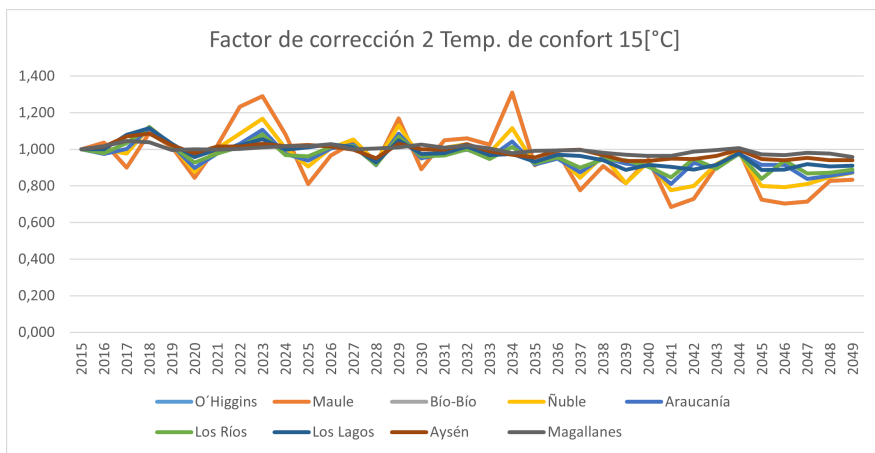
Factor de corrección 2

Para el caso del factor de corrección 2, al igual que el factor de corrección 1 en la figura gráfico 5.2 se muestra su comportamiento para los distintos casos de temperaturas de confort en el horizonte de tiempo, para cada una de las regiones. Las regiones están representadas por

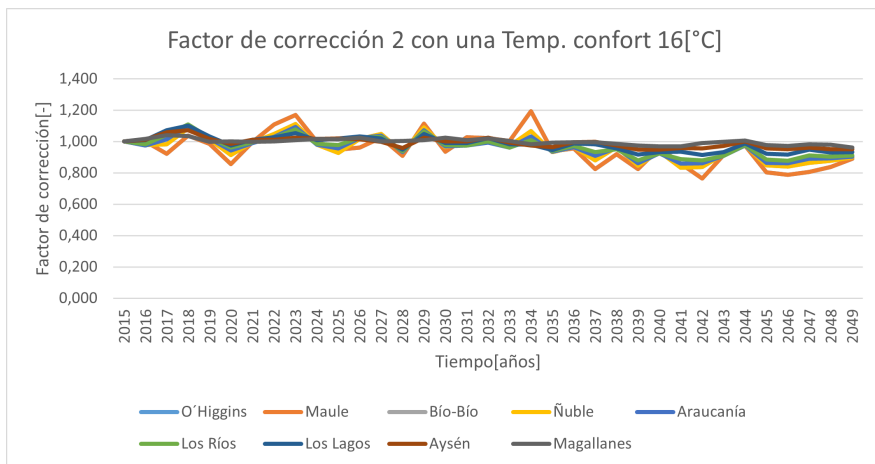
distintos colores en cada uno de los gráficos que se pueden leer en las respectivas leyendas. En la figura 5.2.a se muestra el comportamiento del factor de corrección 2 para una temperatura de confort de 14 [°C], en el gráfico 5.2.b se observa el caso base con una temperatura de confort de 15[°C] y en la imagen 5.2.c los valores para el factor de corrección considerando una temperatura de confort de 16[°C]



(a)



(b)



(c)

Figura 5.2: Factor de corrección 2: Sensibilidad temperatura de confort

5.2.1.2. Emisiones totales

En las figuras que se presentarán en esta sección, se puede observar las emisiones totales, para cada región, con la variación de la temperatura confort. Primero, se muestran los resultados obtenidos para el factor de corrección 1 y luego lo que ocurre con el factor de corrección 2.

Factor de corrección 1

En la figura 5.3 se puede observar lo que ocurre con las emisiones para cada una de las regiones. Por un lado, la línea de color rojo representa la proyección del estudio del CR^2 la que representa las emisiones de MP2,5 en [Ton/año] proyectadas que no dependen de la temperatura, mientras que por otra parte, la línea gris representa las emisiones corregidas en el caso base para una temperatura de confort de 15[°C], finalmente la línea azul, muestra el caso de 14[°C] y la de color verde el caso de 16[°C]. En el pie de la imagen 5.3 se pueden observar el nombre de las regiones que representan cada uno de los gráficos que se muestran en la figura.

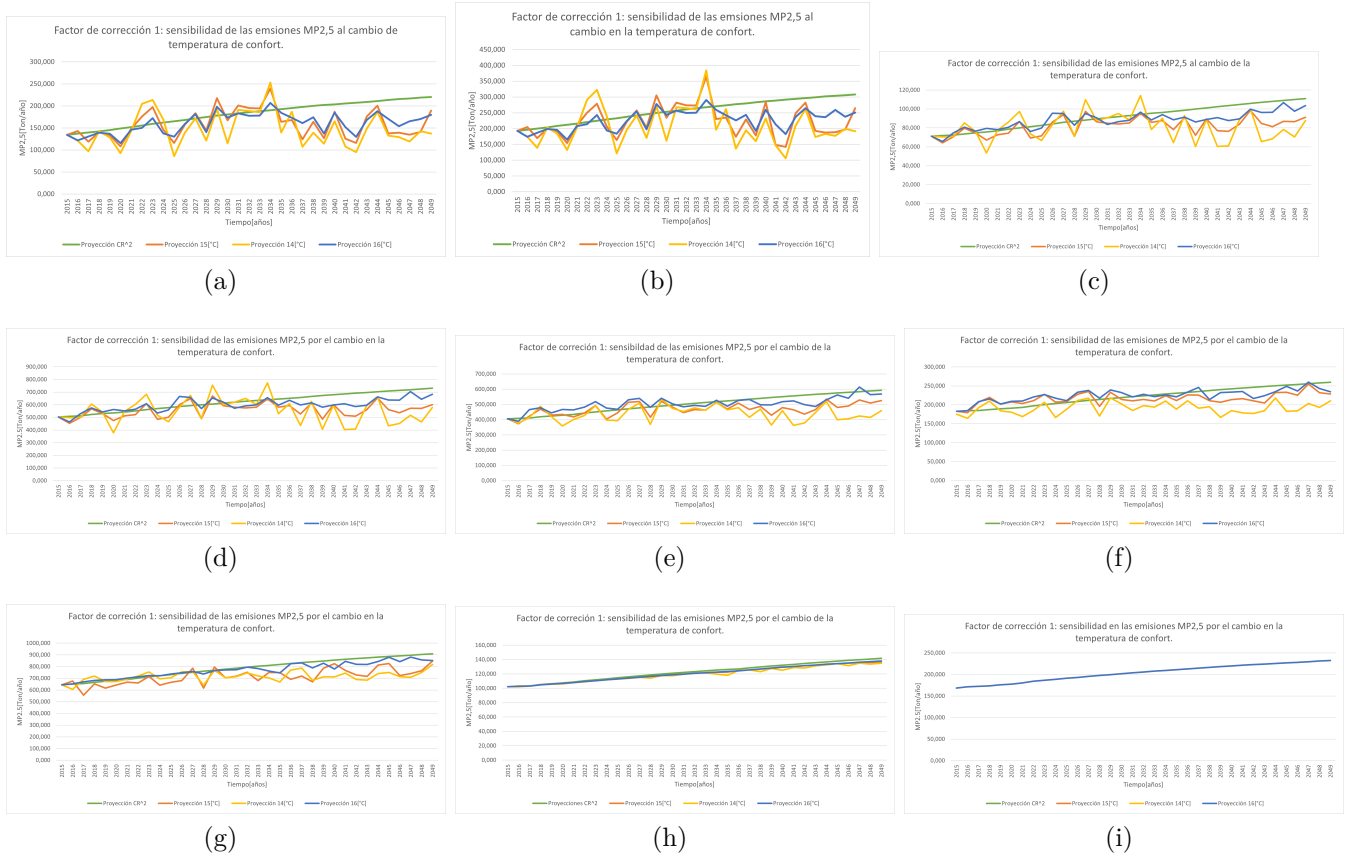


Figura 5.3: a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

Factor de corrección 2

A continuación, en las siguientes figuras, se presenta los resultados para el factor de corrección número 2, de las emisiones totales de MP 2,5 en [ton/año]. En la figura 5.4 se puede

observar el caso para cada una de las regiones que se identifican en el pie de la figura. Se puede observar en cada gráfico, por un lado, la línea de color rojo representa las emisiones proyectadas por el CR^2 , mientras que por otro lado, en color gris se muestra el comportamiento de las proyecciones para la temperatura de confort a $15[^\circ C]$. Finalmente, en color azul y en el color verde, se puede apreciar las emisiones con un temperatura confort de $14[^\circ C]$ y $16[^\circ C]$ respectivamente.

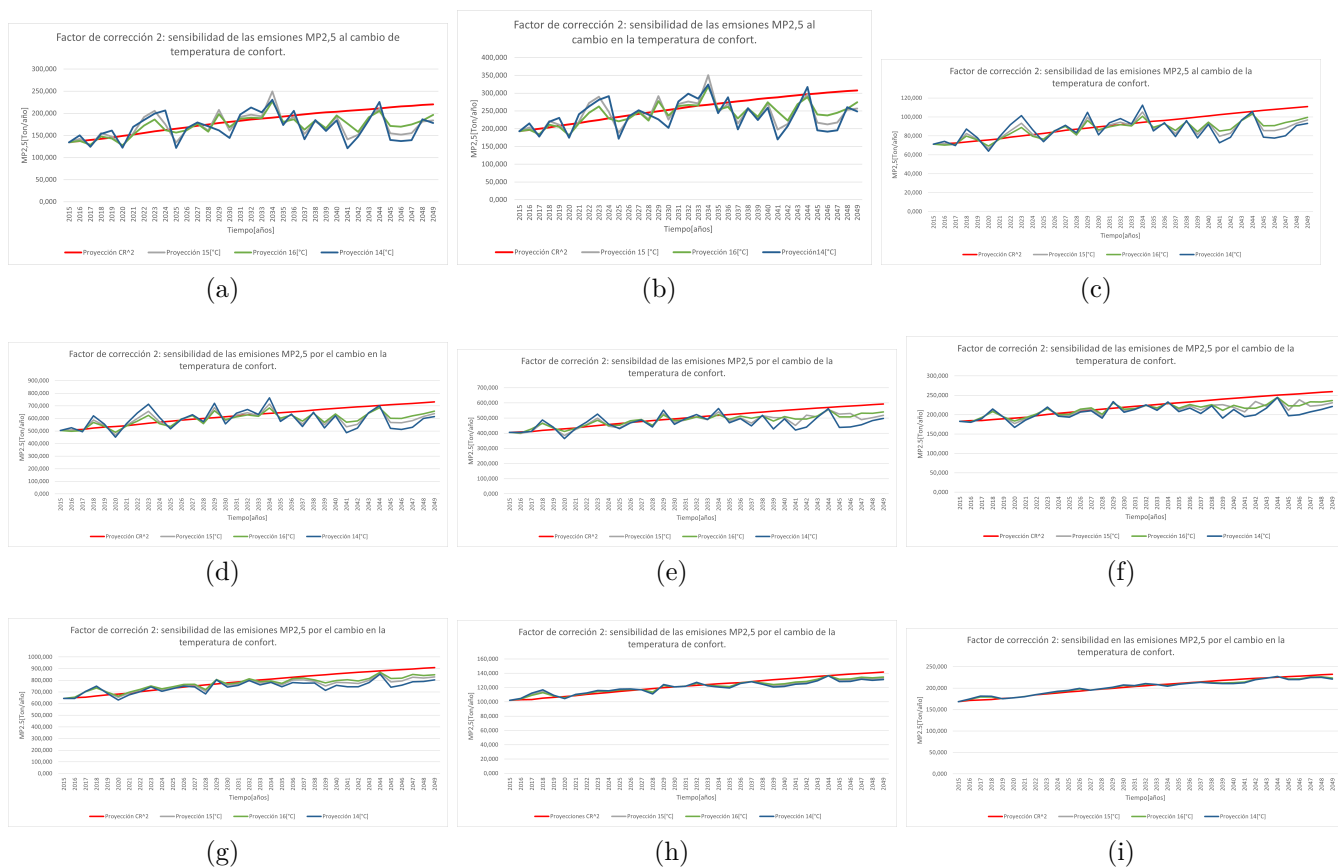


Figura 5.4: a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

En la tabla 5.1 se puede ver la variación porcentual de emisiones de MP2,5 en [ton/año], para el año 2050, entre los casos de distintas temperaturas de confort con el caso de las proyecciones entregadas del CR^2 . Los resultados se obtuvieron al restar las emisiones totales obtenidas, en el año 2050, para cada uno de los escenarios del análisis de sensibilidad, con las emisiones totales del CR^2 , para luego obtener el porcentaje de variación respecto a las emisiones totales del estudio. Lo anterior se realizó para cada una de las regiones.

Tabla 5.1: Variación porcentual de emisiones de MP2,5 expuestas por el CR^2 para el año 2050 para los distintos valores de factores de corrección con distintas temperatura de confort.

Regiones	F1 14[°C]	F1 15[°C]	F1 16[°C]	F2 14[°C]	F2 15[°C]	F2 16[°C]
O'Higgins	20 %	18 %	17 %	17 %	16 %	15 %
Maule	20 %	18 %	17 %	17 %	16 %	15 %
Ñuble	19 %	17 %	10 %	16 %	12 %	7 %
Bío-Bío	19 %	17 %	10 %	16 %	12 %	7 %
Araunía	17 %	13 %	7 %	18 %	14 %	9 %
Los Ríos	15 %	8 %	9 %	14 %	11 %	8 %
Los Lagos	14 %	12 %	6 %	11 %	9 %	6 %
Aysén	4 %	2 %	2 %	7 %	6 %	5 %
Magallanes	1 %	0 %	0 %	5 %	4 %	3 %

5.2.1.3. Discusiones Parciales

Al observar los resultados obtenidos para los factores de corrección, se puede apreciar que en ambos casos, al aumentar la temperatura de confort, los valores del factor de corrección son más cercanos a 1 y que a medida que se avanza en el horizonte de tiempo los valores de factor de corrección son más grandes con el aumento de la temperatura de confort. Lo anterior, se puede comprobar comparando las figuras, 5.1a con 5.1c y 5.2a con 5.2c, en las que se observa que, al suponer una temperatura de 14 [°C] las variaciones de los factores de corrección son más grandes y poseen valores más bajo al llegar al año 2050 comparando con lo que ocurre en la con una temperatura confort de 16[°C].

Lo anterior se debe a que al considerar una menor temperatura de confort, supone que las personas estarían soportando menores temperaturas para considerar encender sus calefacciones, por lo que el efecto de la temperatura tendría una mayor implicancia en el ahorro de consumo de leña. Por ejemplo al considerar una temperatura de confort de 14[°C], esto representa que las personas no estarían prendiendo sus estufas aquellos días en donde la temperatura fue mayor a esa, por lo que al considerar que las proyecciones de las temperaturas van en aumento y que el escenario propuesto por el modelo climatológico supone un aumento de hasta 3 [°C], más días del año se estaría pasando la temperatura de confort en contraste al tomar una temperatura de confort de 16[°C].

Se puede observar en la tabla 5.1 que a medida que se avanza en regiones hacia el sur, el efecto de la temperatura tiene una menor variación porcentual, lo que repercute en menor emisiones totales por año de MP2,5. Esto se debe al que al tener menores temperaturas promedio diarias, como ocurre en regiones como Aysén y Magallanes, a pesar del aumento de temperatura, las emisiones seguirán siendo las mismas, ya que las temperaturas promedio diarias seguirán bajo la temperatura de confort, entregando valores similares a los estimados por el CR^2 . Este fenómeno se puede observar en lo que ocurre en los gráficos 5.3h y 5.3i, para el factor de corrección 1 y en los gráficos 5.4h y 5.4i.

Siguiendo con la idea anterior, al comparar lo que ocurre con ambos factores de corrección se puede observar en los gráficos que su comportamiento es bastante similar para los distintos gráficos de las figuras 5.3 y 5.4, sin embargo se vuelve interesante analizar lo que

ocurre en regiones más al sur del país, como Aysén y Magallanes. Al observar las variaciones de las emisiones porcentuales, para el año 2050 presentadas en la tabla 5.1, para el caso del factor de corrección 1 los porcentajes de variación son 0 y 1 para la región de Magallanes, mientras que para el factor de corrección 2 alcanza un 3-5%. Esto se debe a que el factor de corrección 1 no incluye en su ecuación el balance de energía realizado para obtener la elasticidad de demanda, por lo que solo depende de si la temperatura exterior es mayor o menor la temperatura de confort, mientras que el factor de corrección 2, al considerar lo que ocurre al interior de un hogar, es capaz de reflejar cambios en las conductas de consumo no solo dependiendo de si la temperatura exterior es igual a la interior.

Es importante tener en consideración que para poder obtener estos resultados, como se ha mencionado en capítulos anteriores, se tomaron algunos supuestos que fueron relevantes a la hora de hacer un análisis de sensibilidad de la temperatura de confort. Un ejemplo fue suponer que las personas estarían capacitadas para poder sentir la variación de $1[^\circ\text{C}]$ de las temperatura exterior de sus hogares, como también lo es el hecho de que todas las personas a lo largo del territorio nacional cuenten con una misma temperatura de confort para encender sus estufas. A pesar de lo anterior, el estudio permite tener una idea a lo que ocurriría si las personas fueran capaces de sentir este tipo de cambios en el ambiente, que es algo que ocurre en la actualidad con tecnologías más modernas de calefacción. Además el modelo presentado en el trabajo es flexible, por lo que generar diferenciaciones por el tipo de personas y sus distintas sensibilidades a la temperatura exterior por región, sería posible, solo que sería necesario que las personas pudieran determinar sus propias temperaturas de confort.

5.2.2. Cambio en la aislación de la casa

En el caso base, se consideró que el hogar promedio poseía una aislación térmica de lana de poliéster, sin embargo existen variaciones en los tipos de aislantes en el mercado como también casas que no poseen este tipo de aislaciones por lo que en este análisis de sensibilidad se presentará que ocurre con los resultados al mejorar o empeorar las aislaciones térmicas. En primer lugar, se presentarán los cambios en el factor de corrección, particularmente como cambia la elasticidad de demanda al interior de la ecuación, y como afecta esto, en el cálculo de las emisiones totales para cada una de las regiones. Luego se realizará una discusión parcial de los resultados obtenidos para esta sección.

5.2.2.1. Elasticidad de demanda

Se presentan los valores obtenidos para el cambio de aislación térmica de la casa. En primer lugar, se asume el caso en donde la aislación de la casa pasa a ser solo madera en donde el valor de conductividad es $0,9[\text{W}/\text{m K}]$. Luego se consideró la opción de cambiar el material aislante del caso base de lana de poliéster a lana de vidrio, mejorando la conductividad de $0,068$ a $0,046$. Finalmente se considero la opción de además de aislar las paredes, mejorar la aislación de las ventanas con aire estanco.[43]

Se realizó el balance de energía al interior de la casa, para cada uno de los casos anteriormente mencionados, obteniendo distintos valores para la elasticidad de demanda ϵ . En la figura 5.5 se puede observar la dependencia del consumo de leña en función de la temperatura exterior.

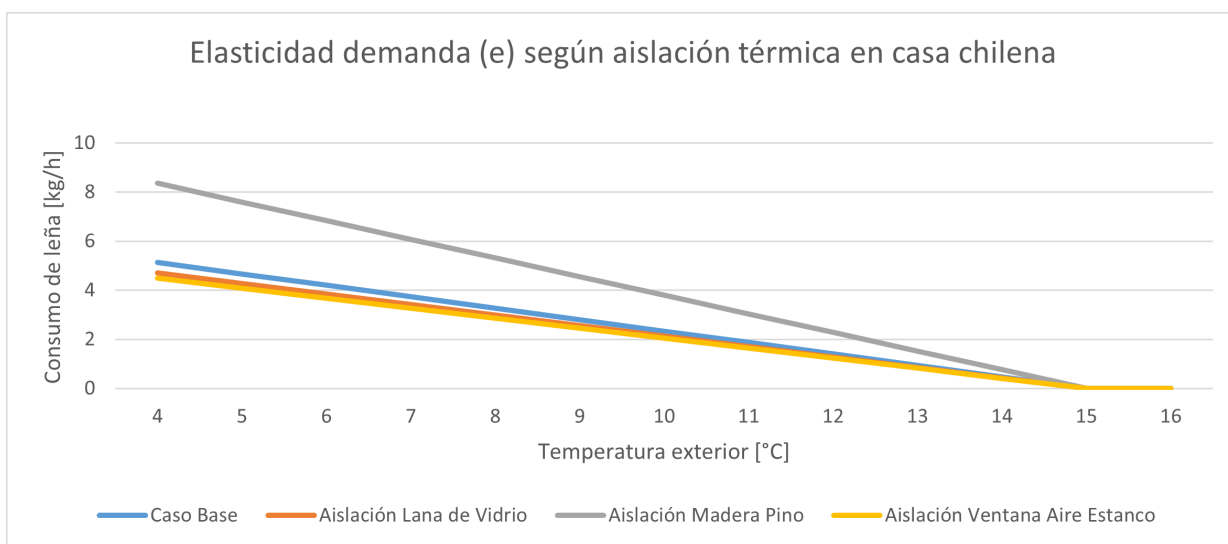


Figura 5.5: Elasticidad de demanda para distintos casos de aislación para una casa chilena

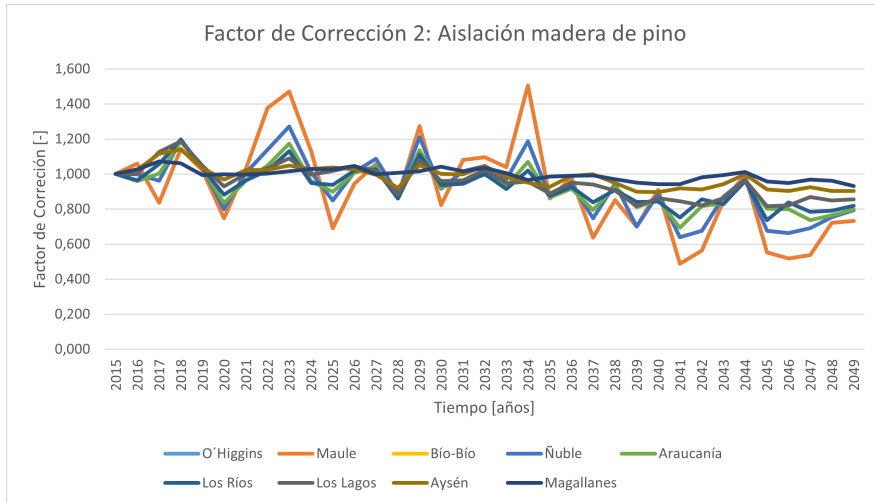
En la tabla 5.2 se muestran los valores de ϵ para los distintos casos de aislación térmica propuestos. Para un mayor detalle de los resultados revisar planilla Excel adjunta, Balance de energía al interior de un hogar.

Tabla 5.2: Elasticidad de demanda ϵ según el tipo de aislante térmico utilizado en una casa chilena

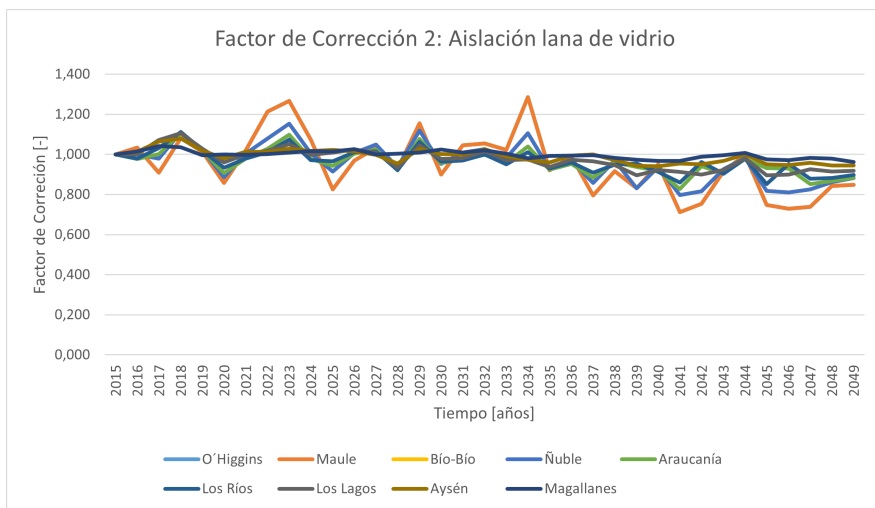
Tipo de aislación	Conductividad [W/K m]	ϵ
Aislación Lana poliéster	0,068	0,466
Aislación Lana de vidrio	0,046	0,427
Aislación Madera Pino	0,9	0,759
Aislación Ventana Aire Estanco	0,024	0,408

5.2.2.2. Factor de corrección

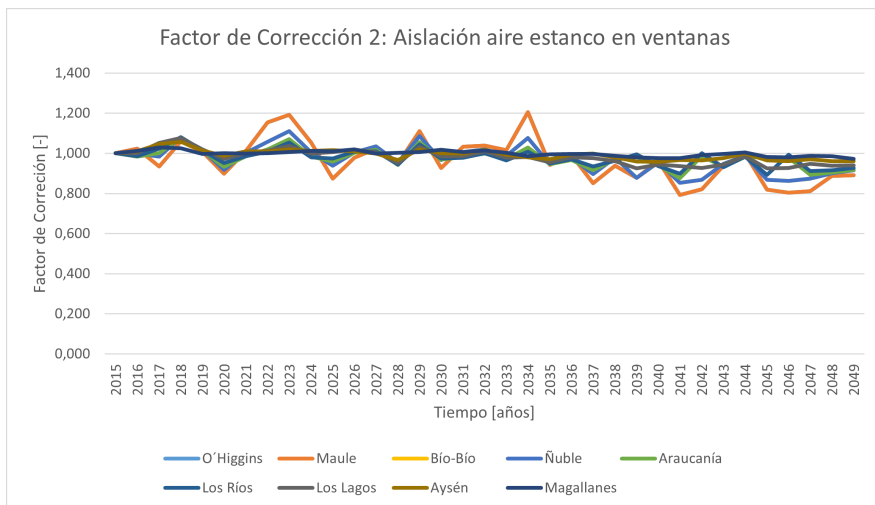
En esta sección se presentan los resultados obtenidos para el factor de corrección 2. En la figura 5.6 se muestra que ocurre con el factor de corrección para cada variación en la aislación térmica del hogar y dentro de cada uno de los gráficos se puede apreciar el comportamiento de cada una de las regiones en distintos colores señalados en las leyendas de la imagen. En el gráfico 5.6.a se observa el caso en donde la aislación térmica es peor que el caso base y solo considera que la aislación es del material de construcción, en este caso madera de pino. En el gráfico 5.6.b y el 5.6.c se pueden ver los casos en donde se mejora la aislación de la casa, cambiando el material a lana de vidrio y realizando cambios en las ventanas agregando termo panales, respectivamente.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.6: Factores de corrección 2 para distintos casos de aislación térmica

5.2.2.3. Emisiones Totales

Se presentan las imágenes de las emisiones totales en el tiempo en [Ton/año], para cada región en función de los diferentes tipos de aislación dentro de un hogar. En la figura 5.7 se puede observar los resultados obtenidos para todas las regiones que se pueden identificar en el pie de la foto. En cada uno de los gráficos se puede identificar por un lado, en color rojo, el que representa las proyecciones de las emisiones hechas por CR^2 , mientras que por otro lado, la línea de color verde, representa el caso base, en el que se consideró una aislación con poliéster. Finalmente, la línea celeste, naranja y amarillo, representan las emisiones totales, considerando una aislación de madera de pino, de lana de vidrio y aire estanco en las ventanas, respectivamente.



Figura 5.7: a) O´Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

En la tabla 5.3 se puede ver el porcentaje de variación porcentual de Emisiones totales de MP2,5 para el año 2050, con respecto a las proyecciones estimadas por el CR^2 . Lo anterior para cada caso de variación en el análisis de sensibilidad de aislación térmica al interior de un hogar.

Tabla 5.3: Variación porcentual de emisiones de MP2,5 de las proyecciones del CR^2 para el año 2050 para los factores de corrección 2 con distintas aislaciones térmicas al interior de un hogar.

Regiones	Aislación madera $\epsilon = 0,759$	Aislación caso base $\epsilon = 0,466$	Aislación lana de vidrio $\epsilon = 0,427$	Aislación aire estanco $\epsilon = 0,408$
O'Higgins	26 %	16 %	15 %	14 %
Maule	26 %	16 %	15 %	14 %
Bío-Bío	20 %	12 %	11 %	11 %
Ñuble	20 %	12 %	11 %	11 %
Araucanía	19 %	14 %	11 %	10 %
Los Ríos	18 %	11 %	10 %	9 %
Los Lagos	14 %	9 %	8 %	7 %
Aysén	9 %	6 %	5 %	5 %
Magallanes	7 %	4 %	3 %	3 %

5.2.2.4. Discusiones Parciales

Dentro de los resultados obtenidos para el valor de la elasticidad de demanda, se puede apreciar que la menor elasticidad se obtiene al cambiar la lana de poliéster por lana de vidrio e incluir ventanas de termopanel que poseen aire estanco en su interior. Lo anterior se ve representado en la tabla 5.2 en donde el valor de ϵ dio 0,408, lo que implica que al variar 1 [°C] la temperatura al exterior del hogar, es necesario agregar 0,408 kg de madera para mantener la temperatura de confort al interior de la vivienda. Además este valor se puede comparar con el peor caso de aislación, en el que se considera solo el material de construcción, hecho de madera de pino, de la casa. Al realizar la comparación, se puede apreciar que, considerando que la elasticidad de demanda de la aislación con madera de pino es de 0,759, la diferencia en masa para poder mantener la temperatura es de 351 gramos más de madera para el caso de peor aislación térmica.

Revisando los resultados que se presentan en la figura 5.5 se puede observar que la pendiente del caso de peor aislación es más grande que el de los otros casos, sin embargo existe un acercamiento de las curvas al llegar a la temperatura de confort. Lo anterior se debe al hecho de suponer en el balance de energía, que una vez alcanzada la temperatura de confort, no sería necesario seguir liberando más calor, entonces al acercarse a la temperatura de confort existe una disminución del calor necesario a entregar, por lo que independiente del valor de la aislación térmica, se ve disminuido el consumo de leña hasta 0 kg.

Observando los resultados para los factores de la corrección que se pueden apreciar en la figura 5.6, en el caso de peor aislación figura 5.6.a los valores presentan mayores variaciones en comparación a lo que ocurre con el caso de mejor aislación, que se puede ver en la figura 5.6.c. Además al acercarse al 2050, los valores del factor de corrección para el mejor caso presentan valores más cercanos al 1 mientras que el peor caso presentan valores más bajos. Lo anterior se podría traducir como una mayor sensibilidad a lo que ocurre con la temperatura exterior de la casa al tener una peor aislación térmica.

Siguiendo con la discusión anterior en la figura 5.7 al ver el gráfico 5.7a, que es el caso particular de la región de O'Higgins, se puede ver, en la línea de color azul, las emisiones más bajas de material particulado en los últimos 20 años, que representa el caso de peor aislación. Al tener una mayor sensibilidad a la temperatura exterior, en el caso de aislante de

madera de pino, esto se traduce en una reducción en las emisiones futuras de MP2,5. Pese a lo anterior, este resultado es discutible, ya que a pesar de ser más sensible a la temperatura, no es posible que una casa con menor aislación consuma menos leña, por lo que en ese escenario las emisiones deberían ser mayores.

Que exista un mayor consumo de leña y con esto una mayor cantidad de emisiones al tener una mejor aislación en el hogar, representa que el modelo a la hora de querer realizar cambios en parámetros internos de la elasticidad de demanda prioriza el ahorro en el consumo de leña, ya que como se muestra en la tabla 5.3 las mayores reducciones de MP2,5 con respecto al estudio del CR^2 , están dadas por el peor caso de aislación. Esta anomalía será discutida más adelante en la discusión general del capítulo al realizar las comparaciones entre los distintos escenarios de sensibilidad.

5.2.3. Cambio en humedad en la madera

Se muestran los resultados calculados al variar la humedad al interior de la leña, comparados con el caso base, en el que se considero un 20 % de humedad. Se presentarán los cambios en la elasticidad de demanda y como estos afectan a los factores de corrección, para luego presentar las nuevas emisiones totales de MP2,5 obtenidas. Finalmente se realizan una discusiones parciales de los resultados obtenidos en esta sección. [44]

5.2.3.1. Elasticidad de demanda

Dentro de los escenarios estudiados, se decidió mejorar la calidad de leña reduciendo su contenido de agua a un 15 %, pero además se comparó con escenarios en los que la madera se encontrara con un mayor porcentaje de agua, particularmente se estudiaron los caso de un 25 % y un 30 %. A continuación se muestran los resultados obtenidos por el balance de energía, al variar el porcentaje de humedad presente en la madera. En el gráfico 5.8 se muestran las variaciones del consumo de leña en función del cambio de la temperatura exterior.

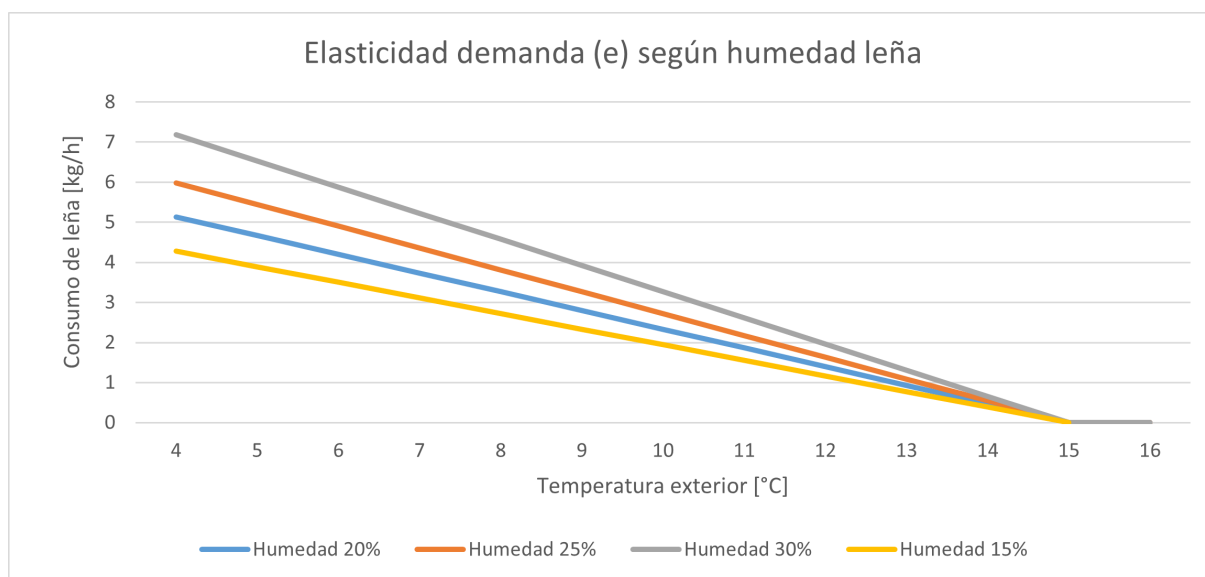


Figura 5.8: Emisiones totales para la región de Magallanes bajo diferentes casos de aislación térmica dentro de un hogar

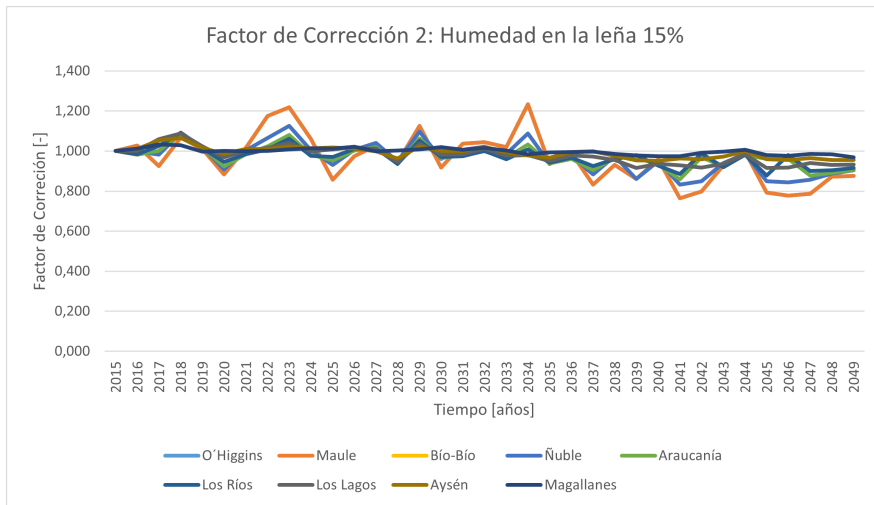
En la tabla 5.4 se presentan los valores de la elasticidad de demanda ϵ para los distintos porcentajes de humedad de la madera. Para un mayor detalle de los resultados revisar planilla Excel "Balance de energía al interior de un hogar"

Tabla 5.4: Valores para la elasticidad de demanda en función del porcentaje humedad presente en la leña

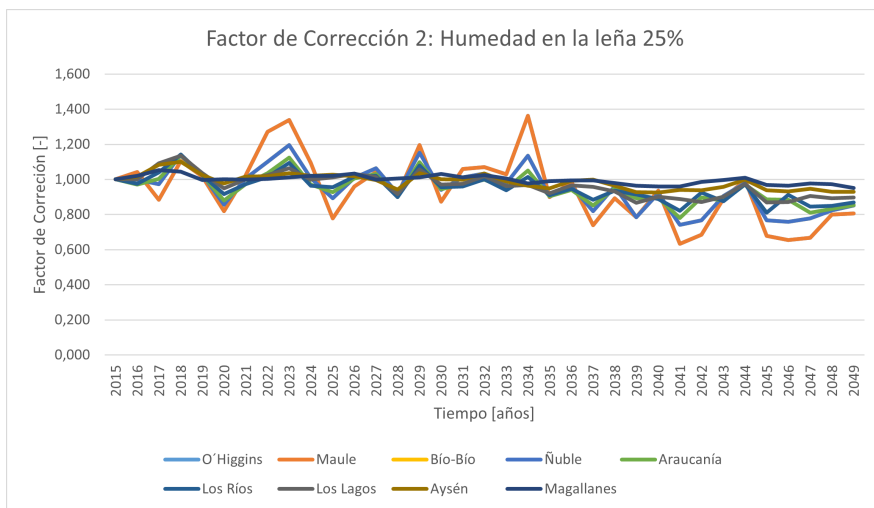
Humedad de la leña	ϵ
15 [%]	0,381
20 [%]	0,466
25 [%]	0,544
30 [%]	0,653

5.2.3.2. Factor de corrección

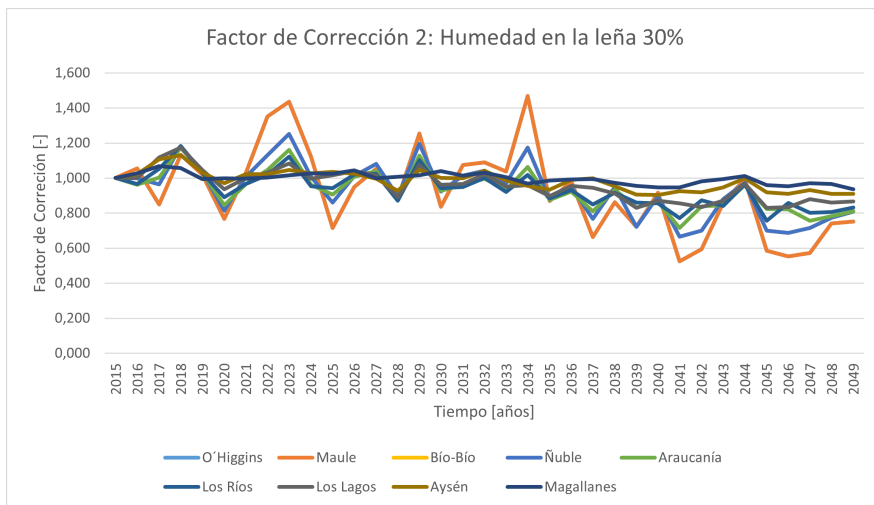
En figura 5.9 se muestra el comportamiento en el tiempo de los valores del factor de corrección 2 para distintos valores de humedad en la leña. Lo anterior para cada una de las regiones en el horizonte de tiempo definido que se pueden identificar en colores en las leyendas de cada uno de los gráficos. En el gráfico 5.8a se puede apreciar lo que ocurre con el factor de corrección cuando se tiene una humedad en la leña de un 15 %, mientras que en el 5.8b para un 25 %. Finalmente, en la imagen 5.8c se puede apreciar el peor caso de materia prima disponible, en el que la leña posee una humedad del 30 %.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.9: Factores de corrección 2 para distintos casos de aislación térmica

5.2.3.3. Emisiones totales

En esta sección se presentaran los resultados obtenidos para las emisiones totales de MP2,5 para los distintos casos de humedad en la leña. Se presentaran las imágenes por región en el horizonte de tiempo estudiado, al igual que en la sección de resultados anteriores. En la imagen 5.10 se puede ver los resultados para cada una de las regiones identificadas en el pie. Dentro de cada figura se puede apreciar, por un lado, la línea roja que representa la proyección generada por el CR^2 , mientras que por otra parte, la línea verde muestra los resultados obtenidos por el caso base considerando una humedad del 20%. Finalmente las líneas celeste, naranja y amarillo representa las variaciones en la humedad de la leña.



Figura 5.10: a) O'Higgins b) Maule c) Ñuble d) Bío-Bío e) Araucanía f) Los Ríos g) Los Lagos h) Aysén i) Magallanes

En la tabla 5.5 se puede observar la variación de las emisiones totales con respecto al caso entregado por el CR^2 para el año 2050. Lo anterior considerando distintos porcentajes de humedad presentes en la leña.

Tabla 5.5: Variación porcentual, respecto al caso entregado por CR^2 , de las emisiones totales de MP2,6 por región, según los distintos porcentajes de humedad presentes en la leña.

Regiones	Humedad 15 %	Humedad 20 % (caso base)	Humedad 25 %	Huemdad 30 %
O´Higgins	14 %	16 %	19 %	23 %
Maule	14 %	16 %	19 %	23 %
Bío-Bío	10 %	12 %	15 %	18 %
Ñuble	10 %	12 %	15 %	18 %
Araucanía	10 %	14 %	15 %	18 %
Los Ríos	9 %	11 %	13 %	16 %
Los Lagos	7 %	9 %	10 %	12 %
Aysén	5 %	6 %	7 %	8 %
Magallanes	3 %	4 %	5 %	6 %

5.2.3.4. Discusiones Parciales

El comportamiento de la elasticidad de demanda al cambiar la humedad de la leña, se comporta de forma similar que al del cambiar la aislación de la casa. Principalmente al aumentar la concentración de agua presente en la madera, es necesario una mayor cantidad de masa para mantener la temperatura de confort al interior del hogar al disminuir la temperatura exterior. Al comparar los resultados obtenidos en la tabla 5.4 se puede apreciar que para una leña con un 30 % de humedad, es necesario agregar 653 gramos de madera por grado de temperatura exterior disminuido, mientras que para humedad del 15 % es necesario solo 381 gramos de madera.

Lo que ocurre con los resultados de las emisiones totales de MP2,5 en [ton/año] es que al disminuir la concentración de agua en la materia prima, aumentan las emisiones totales, lo que realza el hecho de que el modelo esta priorizando la sensibilidad de la temperatura. Ejemplificando lo anterior, al tener una menor concentración de agua en la madera, el poder calorífico es mayor, por lo que el calor entregado por la misma es mayor y sería necesario menor masa de leña para mantener la temperatura de confort, lo que se traduciría en una reducción de emisiones en los escenarios donde la humedad presente en la madera fuera menor. Sin embargo lo que muestran los gráficos de la figura 5.10 es lo contrario, debido a que el modelo beneficia el hecho de condiciones del aumento de temperatura en el medio ambiente, por lo que al tener una temperatura más cálida en el futuro próximos años, por el escenario planteado de cambio climático, se le da una mayor ponderación al hecho de que en el caso de una mayor concentración de agua en la madera, las emisiones serían aun más pequeñas por el ahorra del peor escenario expuesto. Esta problemática será abordada en la discusión general del capítulo de análisis de sensibilidad.

Otra problemática a discutir, es el supuesto que se tomó al calcular las emisiones totales, en las que se asumió que el factor de emisión de MP 2,5 por quema de leña, era el mismo para cada caso de humedad presente en la madera. Esto es importante, ya que la variación se realizó al momento de hacer el balance de energía, en donde se cambio el poder calorífico de cada escenario dependiendo del porcentaje de humedad, sin embargo para hacer la transformación en el balance de masa, se asumió que la misma masa de madera emite la misma cantidad de MP2,5 independiente del contenido de agua, lo que no es real. Lo anterior generaría cambio en los resultados, beneficiando los casos en donde la humedad presente en la leña es menor,

ya que para estos casos la emisión de MP2,5 por kg. de madera sería menor. Una posibilidad de mejorar los resultados obtenidos, sería cambiar los factores de emisión dependiendo del contenido de agua presente en la materia prima, de esta forma obtener resultados que sean más.

5.3. Discusión

Observando los resultado de las tablas 5.11-5.13 se puede apreciar que la mayor variación, con respecto a las proyecciones generadas por el CR^2 , es la aislación térmica, particularmente para el caso de solo utilizar madera como principal material de las viviendas sociales. Los resultados muestran que, al solo considerar este aislante, la disminución en las emisiones para el año 2050, podría llegar a ser de hasta un 26% menor que el caso del CR^2 , en regiones de la zona centro como O´higgins y Maule, y hasta de un 7% menor en la región más austral del país, Magallanes. Estos resultados muestran que la aislación de un hogar genera una mayor implicancia en como afecta la temperatura del exterior, al consumo de leña al interior de un hogar, y a su vez, a las emisiones totales de MP2,5.

Es importante entender que esto se aleja de la realidad debido a que una mejora en el aislamiento de las casas, debería mejorar las condiciones de operación y mantener la temperatura al interior de un hogar con una menor cantidad de energía, por lo que el consumo debería disminuir si se mejora el aislamiento. Sin embargo para el caso de estudio, el modelo del factor de corrección, muestra la variación del consumo de leña en función del aumento de la temperatura del exterior, por lo que al tener un mayor consumo, que es el caso de una peor aislación térmica, el efecto de aumentar un grado de la temperatura nos permite ahorrar una mayor cantidad de leña a consumir, por lo que se prioriza el efecto que tiene la temperatura en el consumo y se puede ver esta disminución en las emisiones totales por el hecho de tener un peor aislamiento ya que es en este caso en donde el impacto de la temperatura sería mayor.

Lo mismo ocurre con la humedad de la leña, al tener una mayor humedad, se tiene una mayor elasticidad de demanda, con lo que la variación en la reducción de emisiones totales también va a ser mayor. Este efecto genera que para menores humedades en la leña, se emita una mayor concentración de MP2,5, lo cual tampoco se respalda con la química de lo que ocurre en la realidad, ya que al tener una mayor concentración de agua en la leña, la combustión de la misma es peor, por lo que el poder calorífico es menor y es necesario un mayor consumo para generar la misma energía. Sin embargo, el modelo prioriza el efecto de que la disminución del consumo será mas afectada por el aumento de temperatura en los casos donde las emisiones generadas sean mayores, que en este caso, sería el de mayor humedad al interior de la leña.

De lo anterior se puede concluir que primero, efectivamente al tener peores condiciones en el caso base en el hogar, ya sea peor aislación o mayor humedad en la leña, el efecto del cambio climático de aumento en la temperatura va a ser mayor en el consumo, generando un mayor impacto en la reducción de emisiones totales. Pese a lo anterior es necesario entender que esto solo ocurre, porque el modelo considera la elasticidad de demanda como un factor multiplicativo para tener una referencia de cuanto disminuye el consumo por grado de temperatura aumentado. Sin embargo, para lograr hacer un análisis más exhaustivo de lo que realmente esta ocurriendo, es necesario adaptar esta ecuación para poder realizar comparaciones con respecto a la aislación térmica y a la disminución de la humedad. Este punto será

discutido con más detención en la sección de reflexiones y proyecciones.

Otra discusión que se genera al observar todos los casos en un conjunto, es que se puede apreciar que a medida que se baja en el territorio nacional, se puede observar una disminución en el valor de los porcentajes de variación. Esto es independiente de los casos que se tomen, ocurre para los factores de corrección 1 y 2, para el cambio en la temperatura de confort, para el cambio en la aislación térmica, como también, para la variación de la humedad en la madera.

Lo anterior se puede explicar pensando en la temperatura de confort que se elige, versus las temperaturas promedios que se tienen durante todo el año en las respectivas regiones. Lo que ocurre en las regiones de más al sur del país, es que las temperaturas promedios diarias llegan a máximas más bajas, por lo que son pocos días en donde se alcanza la temperatura de confort que se escogió. Al considerar este factor, se entiende que a pesar de haber un aumento en la temperatura promedio global del planeta de hasta $3,5[^\circ\text{C}]$, esto no alcanza afectar lo suficiente para que la gente de esas regiones deje de consumir leña. En otras palabras, a pesar de haber un aumento de temperatura, en esas regiones sigue haciendo frío.

Se puede observar el fenómeno anteriormente descrito, pensando en los resultados obtenidos para el cambio de temperatura de confort, se puede ver que al disminuir la temperatura de confort a $14 [^\circ\text{C}]$, cada vez empieza afectar más el efecto de la temperatura en regiones como Aysen y Magallanes. De esto se asume que al bajar más la temperatura de confort, más implicancia tendría el efecto de aumento de la temperatura global, en la disminución del consumo de leña. Sin embargo, es importante tener en consideración que disminuir la temperatura de confort, es lo mismo que decir que las personas no prenden la estufa a temperaturas más bajas y que al tener temperaturas promedios de, por ejemplo $13[^\circ\text{C}]$, las personas estarían cómodas y por lo tanto no prenderían la estufa.

Finalmente comparando las emisiones totales entregadas por la información que se tienen en el tiempo presente, versus los distintos escenarios proyectados, en ningún caso se puede asumir que la disminución de las emisiones por el efecto de temperatura es suficientemente relevante. Lo anterior considerando que la cantidad de toneladas emitidas seguirá en aumento, por lo que si ya en el presente existen problemas por la emisión de $\text{MP}_{2,5}$, esta situación no se ve más prometedora en un futuro, incluso considerando la disminución de estos por el efecto de la temperatura.

En el capítulo 6 se realizará una reflexión global del estudio realizado en esta memoria, pensando en distintas aristas, como los supuestos tomados para la obtención de los resultados, como también en el comportamiento del modelo bajo distintas variables. Además se planea generar unas proyecciones respecto al trabajo, entendiendo las limitaciones y las futuras aplicaciones que se podrían hacer con los resultados obtenidos.

Capítulo 6

Reflexiones y proyecciones

Pensando en los alcances de la memoria es importante recoger algunas reflexiones respecto al trabajo realizado y a las proyecciones que pueden existir para continuar el estudio. Lo primero pensando en las proyecciones de las temperaturas que se obtuvieron en el Capítulo 2 existen diferentes variables que se podrían estudiar a cabalidad.

Lo primero pensando en el uso de los modelos entregados por el CMIP6, es utilizar un modelo que utilice grillas geoespaciales más pequeñas. Hasta el momento y como se mencionó anteriormente, no existen modelos globales en CMIP6 capaces de entregar proyecciones para las temperaturas promedios diarias en radios menores de 30 km. al menos para la zona geográfica de Chile. Esto, como se pudo ver en los resultados, afectó directamente para poder obtener las temperaturas promedio para la región de O'Higgins y la de Maule. A consecuencia de lo anterior, las proyecciones para las emisiones se vieron afectadas de la misma manera para ambas regiones.

Una propuesta para poder generar una diferenciación en ambas regiones podría ser, utilizar las temperaturas históricas de las respectivas regiones y obtener los delta de aumento de temperaturas entregados por las proyecciones del CMIP6, de esta forma poder generar una base de dato con ambos datos y generar proyecciones diferencias para ambas regiones. Aun así, es importante entender que este estudio permite entender como funcionaría el efecto de la temperatura en las proyecciones del consumo de leña, sin embargo si se quiere tener un análisis con mayor detalle, se vuelve necesario llegar aun más lejos y diferenciar temperaturas por localidades dentro de la región. A pesar de tener una climatología similar dentro de las regiones, las temperaturas diarias pueden ser muy variantes dentro de una misma región, por ejemplo, si se esta estudiando una comuna más costera versus a una comuna que se encuentre más hacia la cordillera.

El tener más datos para las distintas regiones permitiría estudiar en mayor detalle del efecto de la temperatura en las distintas regiones. Este estudio permite entender a grandes rasgos el impacto que tendría este fenómeno sobre las emisiones de MP2,5, pero se vuelve importante disponer de datos para una localidad si se quiere concluir con respecto a las proyecciones de aumento de temperatura para un espacio particular, como una ciudad o comuna.

Dentro del estudio bibliográfico realizado se estudiaron dos factores de corrección, ambos capaces de representar el efecto que tendría la temperatura en el consumo de leña. Se vuelve

interesante pensar en cómo el aumento de la temperatura del planeta, siendo este un efecto generado por el cambio climático, pueda afectar el consumo de leña. En primera instancia se podría considerar, por los resultados obtenidos, que este efecto tendría un beneficio en las emisiones totales, ya que se ven disminuidas por el efecto que tiene el tener una temperatura mayor en el ambiente en el uso de la calefacción de los hogares. Sin embargo, es importante considerar que el mismo estudio revela que ambos factores no tienen en consideración algunas variables que podrían estar sobre estimando este mismo efecto de reducción en las emisiones.

Lo primero es reflexionar que en ninguno de los escenarios planteados en el estudio, con respecto al aumento de la temperatura global, las emisiones proyectadas para el año 2050 son menores a las emitidas en la actualidad para el año 2015. Esto ya es un problema pensando que hoy en día ya existen problemas de contaminación atmosférica y que a pesar de considerar que el aumento de la temperatura podría disminuir las proyecciones de dichas emisiones, el futuro de la zona centro sur de Chile no va mejorar respecto a las emisiones actuales, por lo que a pesar de haber una disminución de las emisiones proyectadas por el estudio del CR^2 , los valores totales de MP 2,5 en [ton/año] serán mayores a los que se emiten en el tiempo presente.

Para el caso del factor de corrección 2, que considera la variación del consumo de leña al interior de una vivienda en su ecuación, muestra que tanto cambiaría el consumo en función de los grados de temperaturas de diferencias que van haber desde el presente al futuro, por lo cual es sensible al dato de elasticidad de demanda que se le entregue. En el caso de estudio, se decidió calcular uno propio a la realidad nacional, que incluyera variables como el tipo de casa, de aislación y la calidad de la materia prima.

Una propuesta de solución a lo anterior, sería variar la ecuación del modelo, la cual podría incluir la variación en el consumo, no solo este ligada a la temperatura exterior, ya que la física que ocurre al interior de una casa es más compleja. En el estudio solo se consideró la energía necesaria para mantener una temperatura de confort dentro de la casa variando la temperatura exterior sin embargo lo que ocurre en una casa no funciona así. Una proyección del estudio debería incluir en su balance de energía la necesidad de elevar un grado la temperatura al interior desde que se prende la estufa y de como elevar la temperatura de la casa a la temperatura de confort y de como mantenerla. Esto por que lo que en verdad ocurre es que la estufa se prende durante el día pero un a vez la estufa se apaga, la temperatura al interior vuelve a bajar por lo tanto hay que volver a elevar la temperatura para llegar a la de confort.

Otra reflexión que se puede realizar, es que para el caso de estudio fue necesario tomar algunos supuestos respecto a los comportamientos de la personas para poder estudiar el fenómeno del efecto de la temperatura en el consumo de leña. Esto se vuelve interesante, porque el estudiar el comportamiento humano siempre ha sido algo complejo de analizar. En el caso particular de este estudio, se ve reflejado en el comportamiento de las personas a la hora de encender la estufa, de forma particular, se asume que las personas prenden su estufa bajo ciertas condiciones de temperaturas de confort en el interior de las casas, pese a eso, no todas las personas tienen el mismo parámetro para medir su temperatura de confort, por el contrario depende de situaciones culturales, como también de tradiciones familiares. Un ejemplo es una familia en Aysén, donde acostumbran a realizar sus actividades expuestos a bajas temperaturas, se espera que su temperaturas de confort sean más bajas que en

regiones más céntricas como Maule.

Finalmente se espera que este estudio permita integrar al estudio del CR^2 la variable temperatura, el que se pretende incorporar a un conjunto de otros escenarios que afecten la proyección del consumo de leña. De esta manera es importante entender que la temperatura es una de las multivariantes que afectan el problema de las emisiones generadas por la quema de leña del área residencial. Otro de los escenarios posibles a analizar son, los factores de penetración de la leña por región, que son los que representan, que tanta de las viviendas totales, por región, son las que efectivamente consumen leña. Dentro de este mismo escenario poder estudiar la migración de la población de zonas rurales a ciudades y a su vez a departamentos, para poder estudiar el efecto de la variación en el consumo por criterios demográficos.

Otro escenarios son el mejoramiento de las tecnologías del uso para la quema de leña, la que afectaría directamente en la cantidad necesaria de leña para generar la misma energía. Además se podría estudiar el efecto que tendrían algunas políticas públicas restrictivas al uso de leña bajo ciertas circunstancias de emergencias climáticas o horarios establecidos, como también la migración a otros combustibles o incluso a otras fuentes de energía que entreguen calor. Sin embargo es importante tener en consideración que el uso de leña es algo arraigado en la idiosincrasia chilena, siendo esta parte de dinámicas no solo con fines de calefacción si no también culturas y festivas, por lo que estudiar este tipo de escenarios se vuelve más complejo.

Capítulo 7

Conclusiones

El objetivo de esta memoria consistía en proyectar las emisiones futuras del sector residencial para las regiones de la zona centro sur de Chile, bajo escenarios de cambio climático, sobre la base de un modelo de demanda energética de un hogar. Dentro de los principales resultados obtenidos están las proyecciones de las temperaturas promedios diarias para cada una de las regiones de la zona centro sur Chile. Lo anterior permitió calcular factores de corrección para modificar el consumo de leña presentado por el estudio del CR^2 e incluir la variable de la temperatura.

Dentro de los principales resultados obtenidos se encuentran la disminución de las emisiones al considerar el escenario de aumento de la temperatura pronosticada para el años 2050. Para regiones como O'Higgins y Maule la disminución alcanza de un 16 a un 18 %, respecto al pronóstico del CR^2 , mientras que en regiones más al sur, como Magallenes, esta disminución llega a ser solo de un 0 a un 4 %. Lo anterior se debe a que a pesar de alcanzar un aumento de hasta 3[°C] de la temperaturas promedios diarias, las temperaturas de regiones más al sur del país, no alcanzan a superar las temperaturas de confort, por lo que el consumo no se verá significativamente afectado por este aumento de temperatura global.

Incluso, a pesar de lograr disminuciones respecto a las proyecciones futuras entregadas por el estudio del CR^2 , éstas no logran ser menores a las emisiones que se tienen en la actualidad, por lo que es necesario realizar cambios en la forma de abastecimiento energético en los hogares chilenos, esto puede tener implicancias por ejemplo en la matriz energética nacional y en cómo se utiliza la energía para calefaccionar los hogares, desarrollo de mejores tecnologías, cómo también implicancias en políticas publicas respecto a las normas de emisiones de MP 2,5 o normativas de construcción de viviendas y tipo de aislantes térmicos.

Al realizar el análisis de sensibilidad se obtuvo que al variar la temperatura de confort de 15[°C] a 16[°C] se puede observar una disminución de un 1 % en la variación porcentual de las emisiones totales de MP 2,5, mientras que al disminuir la la temperatura de confort a 14 [°C] existe un aumento entre 1 %-7 % de las variaciones porcentuales de las emisiones. Lo anterior, representa que una disminución en la temperatura de confort, volvería mas sensible a las personas a la sensación de frío, por lo que un aumento en la temperatura ambiente generaría un mayor impacto en la conducta del consumo de leña.

Considerando distintos materiales aislantes, se obtuvo que en el caso de peor aislación,

la disminución de las emisiones respecto a lo entregado por el estudio del CR2 alcanza un 26 % para la región de O´Higgins y de un 7% a la región de Magallanes. Por otro lado para el caso de mejor aislación, las variaciones disminuyen a un 14 % para la región de O´Higgins y a un 3 % para la región de Magallanes. Esto se debe a que el modelo prioriza los casos en donde más afectará el aumento de temperatura en el consumo de leña, por lo que a pesar de consumir mas leña en una casa de peor aislación, esta presentara una mayor porcentaje de disminución de las emisiones.

Al aumentar la concentración de agua en la madera se genera una mayor variación porcentual de las emisiones totales comparadas con el caso base, mientras que si se disminuye la humedad, la variación es menor. En particular para el caso de O´Higgins, la variación es de un 2 % al considerara una humedad del 15 % versus al 20 % del caso base, por otro lado al aumentar la humedad a un 30 % la variación aumenta hasta de 7 % para la misma región. Al cambiar la humedad presente en la leña, ocurre algo similar a la aislación de la casa, a pesar que el caso de mayor humedad presente en la leña, implica un mayor consumo de leña para aumentar un grado la temperatura al interior de la casa, es este mismo caso en donde las variaciones de las emisiones serán mayores por efecto del cambio de temperatura.

Dentro de las limitaciones del estudio se encuentra la generación de proyecciones de temperaturas diarias para rangos geográficos más acotados porque al ocupar grillas tan grandes, el modelo no entrega diferenciaciones de temperaturas dentro de una misma región. Sin embargo, se logró abarcar una gran parte del territorio nacional, de lo que se obtuvo diferencias entre la mayoría de las regiones, esto permite tener una idea clara de como se comporta el consumo de leña con respecto al cambio de temperatura respecto una región y otra. Otra limitación es la variación del modelo matemático, particularmente para el factor de corrección 2, de esta forma poder entender como afecta el cambio de ciertas condiciones en el balance de energía al interior de un hogar, y con esto al consumo de leña de la región completa. A pesar de lo anterior, en el estudio se logró obtener variaciones del consumo para el caso particular al interior de un hogar en función de variaciones en la aislación y en la calidad del combustible, por lo que estas variaciones podrían ser incluidas una vez se logre complejizar el modelo.

Finalmente, es importante entender que el problema de contaminación atmosférica es multivariable y que justamente esta investigación tributa a dar más claridad respecto a la variable temperatura y como se comportarían las emisiones residenciales al efecto del cambio climático al aumento de esta variable. En relación con ello, esta investigación proyecta al análisis de otras variables que se podrían considerar en futuras investigaciones, como el cambio en la matriz energética en Chile, el uso de nuevas materias primas para calefacción dentro de las casas, cambio en políticas públicas y mejorar las tecnologías utilizadas en el sector residencial.

Bibliografía

- [1] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2020A). datos-retc – Datos RETC. RETC. <https://retc.mma.gob.cl/datos-retc/>
- [2] Ministerio del medio ambiente. (2020).. Proyecciones Climáticas – Cambio Climático. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/proyecciones-climaticas/>
- [3] FERRER, M. (2020, 15 ENERO). Último informe del IPCC: Evidencias del calentamiento global. *CR²*. <http://www.cr2.cl/ultimo-informe-del-ipcc-evidencias-del-calentamiento-global>
- [4] INFORME A LAS NACIONES: EL AIRE QUE RESPIRAMOS: PASADO, PRESENTE Y FUTURO | (CR)2 | CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA - *CR²*. (2021, 31 MAYO). *CR²*. <http://www.cr2.cl/contaminacion/#1598971123720-d3e7e78b-e3d2>
- [5] GI, K., SANO, F., HAYASHI, A., TOMODA, T., AKIMOTO, K. (2016). A global analysis of residential heating and cooling service demand and cost-effective energy consumption under different climate change scenarios up to 2050. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(1), 51–79. <https://doi.org/10.1007/s11027-016-9728-6>
- [6] MEINSHAUSEN M, RAPER SCB, WIGLEY TML (2011). Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6—part 1: model description and calibration. *Atmos Chem Phys* 11: 1417–1456.
- [7] NAKAGAMI H, MURAKOSHI C, IWAFUNE Y (2014). International comparison of household energy consumption and its indicator. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* 8:214–224 *Natural Earth* (2016) <http://www.natureearthdata.com/>
- [8] GÓMEZ, D. R., J. D. WATTERSON, B. B. AMERICANO, C. HA, G. MARLAND, E. MATSIKA, L. N. NAMAYANGA, B. OSMAN-ELASHA, J. D. KALENGA SAKA, AND K. TREANTON 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Combustión estacionaria. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Pp. 1-47.
- [9] SCHUEFTAN, A., SOMMERHOFF, J., GONZÁLEZ, A. D. (2016). Firewood demand and energy policy in south-central Chile. *Energy for Sustainable Development*, 33, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.004>.
- [10] TAYLOR, KE, STOUFFER, R.J., MEEHL, GA. (2012) . An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull Amer Meteor Soc* 93(4): 485–498 <https://doi.org/10.1175/>
- [11] TRAVAGLIO M., YU, Y., POPOVIC, R., SELLEY, L., SANTOS LEAL, N., MARTINS, L. M. (2020) .Links between air pollution and COVID-19. <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067405>

- [12] VON GUNTEN, L., GROSJEAN, M., EGGENBERGER, U., GROB, P., URRUTIA, R., MORALES, A. (2009). Pollution and eutrophication history AD 1800–2005 as recorded in sediments from five lakes in Central Chile. *Global Planet Change* 68, 198-208.
- [13] Gómez Lobo, A., J. L. Lima, C. Hill, and M. Meneses 2006. Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final. Dpto. de Economía, Universidad de Chile.
- [14] CDT 2015. MEDICIÓN DEL CONSUMO NACIONAL DE LEÑA Y OTROS COMBUSTIBLES SÓLIDOS DERIVADOS DE LA MADERA. INFORME FINAL Institución : Ministerio de Energía. P. 302.
- [15] Ministerio del Medio Ambiente 2017a. ESTADO DE CALIDAD DEL AIRE POR REGIONES DEL PAÍS Y ZONAS DE INTERÉS PARA ALERTAS SANITARIAS SEGUIMIENTO DE EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN POR MP2.5 Reporte mensual septiembre 2017. Technical report, División Calidad del Aire.
- [16] R., Schueftan, A., Sagardia, R. 2017. Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región del Maule. Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, 8:24.
- [17] INE 2019b. POBLACIÓN DE CHILE 2002-2035 REGIONES Y ÁREAS URBANO-RURAL DOCUMENTO METODOLÓGICO.
- [18] UNIVERSIDAD DE CHILE 2014. Alternativas Tecnológicas Para Calefacción Residencial Con Energías Renovables No Convencionales Aplicables a La Realidad Chilena. P. 66.
- [19] SICAM 2014. Emission inventory for the Temuco-Padre Las Casas Metropolitan Area, year 2013: residential wood burning (in Spanish). P. 100.
- [20] MSCI (2012) .Climate Data and Metrics https://www.msci.com/our-solutions/esg-investing/climate-solutions/climate-data-metrics?creative=603858977212&keyword=climate%20change%20data&matchtype=b&network=g&device=c&gclid=CjwKCAjwk_WVBhBZEiwAUHQcmZFixKJF_LWpSMzvm-tFqmgctqwNyWIS5A1nh-D16v1c3fONDMLzhhoCJUQQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds
- [21] FESER F., ROCKEL B., STORCH H. (2011) .Regional Climate Models Add Value to Global Model Data: A Review and Selected Examples.
- [22] MEEHL, G. A. (2007) .Ch 10: Global Climate Projections». Sec 10.5.4.6 Synthesis of Projected Global Temperature at Year 2100.
- [23] IPCC TAR WG1, STOCKER ET AL. 2001. .Chapter 7: Physical Climate Processes and Feedbacks, Section 7.2.2: Cloud Processes and Feedbacks
- [24] IPCC TAR WG1, STOCKER ET AL. 2001. .Energy Balance Models. www.shodor.org.
- [25] FUMORI S., AYAMI H., KEIGO A. 2016 Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Copernicus publications on behalf of the European Geosciences Union.
- [26] CMIP (2016). CMIP Panel: WCRP Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) <http://www.wcrp-climate.org/index.php/wgcm-cmip/about-cmip>
- [27] Gleckler, P. J., Doutriaux, C., Durack P. J., Taylor K. E., Zhang, Y., Williams, D. N.,

- Mason, E., and Servonnat, J. A More Powerful Reality Test for Climate Models, *Eos Trans. AGU*, doi:10.1029/2016EO051663, 2016.
- [28] E., Lautenschlager, M., Morgan, M., Moine, M.-P., Murphy, S., Pascoe, C., Ramthun, H., Slavin, P., Steenman-Clark, L., Toussaint, F., Treshansky, A., and Valcke, S. Describing Earth system simulations with the Metafor CIM, *Geosci. Model Dev.*, 5, 1493–1500, doi:10.5194/gmd-5-1493-2018, 2018.
- [29] Seljeskog, M., Goile, F., and Skreiberg, Ø. Recommended revisions of Norwegian emission factors for wood stoves, *Energy Procedia*, 105, 1022–1028, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.447>, 2017
- [30] Quayle, R. G. and Diaz, H. F. Heating degree-day data applied to residential heating energy consumption, *J. Appl. Meteorol.*, 19, 241–246, 1980.
- [31] Stohl, A., Klimont, Z., Eckhardt, S., Kupiainen, K., Shevchenko, V. P., Kopeikin, V. M., and Novigatsky, A. N. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [32] OLONSCHECK M., HOLSTEN A., JÜRGEN P. (2016). Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change.
- [33] LAUSTSEN, J., 2008.. Energy Efficiency Requirements in Building Codes. Energy Efficiency Policies for New Buildings. International Energy Agency (IEA).
- [34] LAUTENSCHLAGER, M., KEULER, K., WUNRAM, C., KEUP-THIEL, E., SCHUBERT, M., WILL, A., ROCKEL, B., BOEHM, U., 2009.. Climate Simulation with CLM, Scenario A1B Run No. 1, Data Stream 3: European Region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. https://www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=CLM_A1B_1_D3
- [35] | (CR)2 | CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA - CR². (2021, 31 MAYO). CR² Explorador Estaciones Meteorológicas Nacionales . <https://explorador.cr2.cl/>
- [36] UNIVERISDAD DE CHILE (2022). Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento <https://www.nlhpc.cl/>
- [37] UNIVERISDAD DE VENEZUELA (2018). Fenómenos de transporte , Transferencia de calor a través de una pared plan http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm
- [38] UNIVERISDAD DE CHILE (2015). Coeficientes de convección, números adimensionales http://pi-dir.com/calor/transferencia_de_calor_05_conveccion.htm
- [39] MINISTERIO DE ENERGÍA . Informe de Avance Regulatorio- Ley N^a 21.305 sobre Eficiencia Energética https://energia.gob.cl/sites/default/files/actualizacion_de_normativa_-_ministerio_de_obras_publicas.pdf
- [40] DIVISION DE SALUD AMBIENTAL DEPTO. (2015) . Manual de consultas de factores de emisión. Depto Programas sobre ambiente <http://www.declaracionemision.cl/documentos/2502681e05202ed19008ee5af6084c40.pdf>
- [41] CDT (2015). Medición del Consumo Nacional de Leña y Otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera. <https://calefaccionsustentable.mma.gob.cl/wp-content/uploads/>

2017/09/Medicion-del-consumo-nacional-de-lena-y-otros-combustibles-solidos-derivados-de-la-madera.pdf

- [42] GOBERNANZA FORESTAL UE (2014) . Guia de Cubicación de la madera http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA_DE_CUBICACION_MADERA.pdf
- [43] GONZALES J. (2018) . ¿Qué es la conductividad térmica (λ), Resistencia Térmica (R) y Transmitancia Térmica (U) ? <https://www.aislcel.cl/transmitancia-termica-y-r100/>
- [44] BIBLIOTECA NACIONAL(2015) .DECRETO 49 ESTABLECE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1088772>

Anexo A

A continuación se presenta en la tabla A.1 los valores del CLPV para cada región hasta el 2050.

Tabla A.1: Proyección del consumo de leña por vivienda anual y por región

Año	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
2015	3,369	3,339	5,373	7,646	12,854	17,502	17,828	2,735	14,051
2016	3,393	3,355	5,405	7,679	12,883	17,512	17,839	2,766	14,086
2017	3,412	3,370	5,427	7,698	12,913	17,551	17,865	2,789	14,108
2018	3,426	3,384	5,443	7,711	12,921	17,554	17,867	2,792	14,118
2019	3,457	3,409	5,482	7,746	12,953	17,607	17,931	2,806	14,150
2020	3,486	3,437	5,494	7,759	12,990	17,589	17,944	2,838	14,166
2021	3,502	3,455	5,513	7,780	13,009	17,623	17,960	2,859	14,193
2022	3,522	3,473	5,531	7,801	13,034	17,646	17,977	2,871	14,212
2023	3,532	3,481	5,550	7,823	13,062	17,697	17,994	2,898	14,243
2024	3,555	3,497	5,583	7,852	13,100	17,717	18,044	2,911	14,267
2025	3,567	3,511	5,603	7,869	13,127	17,745	18,085	2,922	14,285
2026	3,589	3,530	5,618	7,884	13,143	17,764	18,088	2,940	14,304
2027	3,606	3,567	5,636	7,899	13,166	17,789	18,113	2,967	14,329
2028	3,621	3,579	5,651	7,918	13,187	17,791	18,128	2,975	14,350
2029	3,635	3,589	5,661	7,927	13,204	17,811	18,122	2,993	14,365
2030	3,649	3,606	5,667	7,942	13,217	17,836	18,128	3,002	14,376
2031	3,658	3,617	5,684	7,950	13,228	17,846	18,148	3,007	14,387
2032	3,679	3,625	5,703	7,969	13,244	17,861	18,164	3,023	14,408
2033	3,694	3,640	5,718	7,986	13,260	17,865	18,183	3,030	14,422
2034	3,699	3,658	5,734	8,006	13,276	17,873	18,174	3,032	14,439
2035	3,707	3,669	5,745	8,019	13,290	17,903	18,175	3,041	14,442
2036	3,712	3,674	5,756	8,032	13,306	17,894	18,180	3,051	14,454
2037	3,732	3,681	5,767	8,045	13,320	17,894	18,189	3,063	14,469
2038	3,744	3,691	5,772	8,057	13,330	17,899	18,193	3,081	14,473
2039	3,767	3,703	5,783	8,065	13,344	17,904	18,207	3,085	14,475
2040	3,774	3,716	5,798	8,075	13,353	17,908	18,211	3,081	14,475
2041	3,781	3,735	5,805	8,089	13,363	17,908	18,219	3,092	14,488
2042	3,798	3,749	5,811	8,101	13,373	17,907	18,221	3,095	14,503
2043	3,809	3,760	5,820	8,108	13,379	17,942	18,212	3,099	14,507
2044	3,815	3,776	5,825	8,113	13,388	17,952	18,205	3,110	14,506
2045	3,825	3,791	5,831	8,118	13,397	17,959	18,201	3,127	14,509
2046	3,837	3,802	5,841	8,127	13,404	17,972	18,202	3,137	14,512
2047	3,843	3,810	5,847	8,131	13,410	17,979	18,217	3,139	14,508
2048	3,847	3,819	5,852	8,138	13,419	17,970	18,233	3,146	14,514
2049	3,851	3,830	5,865	8,149	13,431	17,970	18,229	3,150	14,523
2049	3,859	3,840	5,882	8,159	13,441	17,997	18,232	3,149	14,528
2050	3,865	3,844	5,890	8,166	13,451	18,010	18,223	3,148	14,533

Anexo B

Código de Python Series de tiempo Temperatura

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 """
4 Created on Mon Mar 21 22:55:18 2022
5
6 @author: Felix
7 """
8
9 import numpy as np
10 import pandas as pd
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 from netCDF4 import Dataset
13 import datetime
14
15
16
17 def convertir_360_a_365(days_in_month, days_count, Temp_modelo, dates):
18     Temp_ssp = np.zeros(len(dates))
19     for i in range(len(days_in_month)):
20         if i == len(days_in_month)-1:
21
22             if days_in_month[i] == 31:
23                 Temp_ssp[days_count: days_count+days_in_month[i]-1] = Temp_modelo[30*i
24 ↪ :30*(i+1)]
25                 Temp_ssp[days_count+days_in_month[i]-1] = Temp_modelo[30*(i+1)-1]
26             else:
27                 Temp_ssp[days_count: days_count+days_in_month[i]] = Temp_modelo[30*i
28 ↪ :30*i + days_in_month[i]]
29
30         else:
31             if days_in_month[i] == 31:
32                 Temp_ssp[days_count: days_count+days_in_month[i]-1] = Temp_modelo[30*i
33 ↪ :30*(i+1)]
34                 Temp_ssp[days_count+days_in_month[i]-1] = (Temp_modelo[30*(i+1)-1] +
35 ↪ Temp_modelo[30*(i+1)])/2
36             else:
```

```

34         Temp_ssp[days_count: days_count+days_in_month[i]] = Temp_modelo[30*i
↪ :30*i + days_in_month[i]]
35
36     days_count += days_in_month[i]
37     return Temp_ssp
38
39
40
41 def near(array,value):
42     idx = (np.abs(array-value)).argmin()
43     return idx
44
45 ciudades = ["Rancagua",
46             "Curicó",
47             "Talca",
48             "Concepción",
49             "Chillan",
50             "Temuco",
51             "Valdivia",
52             "Osorno",
53             "Puerto Montt",
54             "Cochrane",
55             "Punta Arenas"]
56
57 coordenadas_ciudades = [
58     [-34.17, 360-70.74],
59     [-34.98, 360-71.23],
60     [-35.43, 360-71.66],
61     [-36.82, 360-73.05],
62     [-36.60, 360-72.10],
63     [-38.74, 360-72.59],
64     [-39.81, 360-73.25],
65     [-40.57, 360-73.13],
66     [-41.47, 360-72.94],
67     [-45.58, 360-72.06],
68     [-53.15, 360-70.91]
69 ]
70
71 Data_ukes_tas_ssp = Dataset("tas_day_UKESM1-0-LL_ssp585_r1i1p1f2_gn_20150101
↪ -20491230.nc")
72 units_ssp = Data_ukes_tas_ssp["time"].units
73 Data_ukes_tas_hist = Dataset("tas_day_UKESM1-0-LL_historical_r1i1p1f2_gn_19500101
↪ -20141230.nc")
74 lat = Data_ukes_tas_ssp["lat"][:]
75 lon = Data_ukes_tas_ssp["lon"][:]
76 tas_ukes = Data_ukes_tas_ssp["tas"][:, :, :] - 273.15
77 tas2_ukes = Data_ukes_tas_hist["tas"][:, :, :] - 273.15
78
79
80 for i in range(11):
81
82     Temp_ukes_all_ssp_585 = tas_ukes[:,

```

```

83                                     near(lat, coordenadas_ciudades[i][0]),
84                                     near(lat, coordenadas_ciudades[i][1])
85     Temp_ukes_all_historical = tas2_ukes[:,
86                                     near(lat, coordenadas_ciudades[i][0]),
87                                     near(lat, coordenadas_ciudades[i][1])]
88
89     dates_ukes_ssp_585 = dates = pd.date_range(start='1/1/2015', end='31/12/2049',
↪ freq='D')
90
91     dates_year_ssp_585 = pd.date_range(start='1/1/2015', end='31/12/2049', freq='M')
92
93     days_in_month_ssp_585 = dates_year_ssp_585.days_in_month
94
95     dates_ukes_hist = dates = pd.date_range(start='1/1/1950', end='31/12/2014', freq='
↪ D')
96
97     dates_year_hist = pd.date_range(start='1/1/1950', end='31/12/2014', freq='M')
98
99     days_in_month_hist = dates_year_hist.days_in_month
100
101     days_count = 0
102
103     Temp_ssp_585_corregida = convertir_360_a_365(days_in_month_ssp_585,
↪ days_count, Temp_ukes_all_ssp_585, dates_ukes_ssp_585)
104
105     Temp_hist_corregida = convertir_360_a_365(days_in_month_hist, days_count,
↪ Temp_ukes_all_historical, dates_ukes_hist)
106
107     Data_hist = pd.DataFrame(data={'Temperatura':Temp_hist_corregida}, index =
↪ dates_ukes_hist)
108
109
110     Data_ssp = pd.DataFrame(data={'Temperatura':Temp_ssp_585_corregida}, index =
↪ dates_ukes_ssp_585)
111
112     Data_hist.to_csv('Historico'+ciudades[i])
113     Data_ssp.to_csv('Proyección'+ciudades[i])
114
115     fig1 = plt.figure(1)
116     ax1 = fig1.add_subplot(111)
117
118     ax1.plot(Data_ssp, color = 'red', label='ssp-585 UKES '+ ciudades[i])
119     ax1.plot(Data_hist, color = 'blue', label='historical UKES '+ ciudades[i])
120
121     # ax1.plot( Tmean_Santiago.resample('M').mean()+273.15, linestyle='--', marker='o',
↪ color='k', mfc='w', markersize=7, label="Temperatura Santiago")
122
123     plt.tick_params(direction='in',right=True, top=True)
124     plt.tick_params(labelsize=13)
125     plt.tick_params(direction='in',which='major', length=8, bottom=True, top=True, left
↪ =True, right=True)
126     ax1.set_ylabel(r"Temperatura [°C]", fontsize=13)

```



```
127     ax1.set_xlabel("Año", fontsize=13)
128     # ax1.set_xlim([datetime.date(2004, 1, 1), datetime.date(2021, 12, 23)])
129     ax1.legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5))
130     fig1.set_size_inches((16, 9), forward=False)
131     ax1.legend(fontsize=13)
132     fig1.savefig('Serie de Tiempo '+ciudades[i])
133     plt.clf()
```

Anexo C

Se Adjunta link de carpeta drive en donde se podrán encontrar los siguientes documentos, utilizados para el desarrollo de la memoria. <https://drive.google.com/drive/folders/1wUR7zmIZK9icFIYUup2eILvJ7qGh63sH?usp=sharing>

- Base de datos Proyección temperaturas [Archivo Excel]
- Base de datos Factor de corrección 1 [Archivo Excel]
- Base de datos Factor de corrección 2 [Archivo Excel]
- Base de datos CLPV y EMTOTALES MP 2,5 [Archivo Excel]
- Código proyecciones Temperaturas [Archivo Python]
- Código Factores de corrección [Archivo Python]
- Código Análisis de Sensibilidad [Archivo Python]

Anexo D

Ejemplo memoria de cálculo para el calor perdido por una de las paredes del hogar, además la cantidad de leña para abastecer el consumo energético.

1. Cálculo de los coeficientes de convección forzada y natural.

Lo primero es entender que ecuación utilizar para cada caso. Un ejemplo es suponer el caso para las paredes laterales externas de la casa que se mostró en la figura 3.1. Para esta situación en donde se supone que el viento va en dirección frontal hacia la casa separándose en la mitad y que luego pasa por los costados para juntarse finalmente en la pared trasera, se asume que la convección es forzada. Una vez determinada la geometría del problema se procede a calcular el número de Re

$$Re = (L * D_{aire} * V_{aire}) / \nu_{aire} \quad (D.1)$$

Para el caso del largo característico se tomó el valor del largo de las paredes externas de 4[m], por otro lado para la Densidad del aire y su viscosidad dinámica se linealizaron los datos de tablas para poder lograr que estos datos dependieran directamente de la temperatura. Para este ejemplo, si se tiene una temperatura exterior de 3 [°C], los valores de la densidad y la viscosidad son de 1,19 [kg/m³] y de 1,74E-5 [kg/m s] respectivamente. Para el caso de la velocidad del viento se tomó una velocidad promedio de 3.6 [m/s] obtenida en un día de invierno, para la región de la Araucanía. Con los datos anteriores y reemplazando en la ecuación se obtuvo

$$Re = (4[m] * 3.6[m/s] * 1,19[kg/m^3]) / 1,74E - 5[kg/ms] \quad (D.2)$$

$$Re = 1,06 * 10^6 \quad (D.3)$$

Una vez obtenido el número de Re se procede a utilizar la siguiente ecuación para encontrar el valor del número de Nusselt:

$$Nu_L = (0,037 * Re_L^{4/5} - 871) * Pr^{1/3} \quad (D.4)$$

Se utiliza el número de Re obtenido con anterioridad de 1,06*10⁶ y el número de Pr que se obtiene de la misma forma que la viscosidad dinámica y la densidad del aire, generando una

linealización de datos para generar un número de Pr dependiente de la temperatura. En este caso se utiliza el número de Pr obtenido a 3 [°C], que es 0,02423. De lo anterior se obtiene el siguiente valor para el número de Nu

$$Nu_L = (0,037 * (1,06 * 10^6)^{4/5} - 871) * 0,02423^{1/3} \quad (D.5)$$

$$Nu_L = 1418,15 \quad (D.6)$$

Con el número de Nusselt se puede obtener el valor del coeficiente de convección h al exterior de la casa para el caso de la pared lateral. Este valor se obtiene al multiplicar el número de Nusselt por la conductividad del aire a la temperatura exterior, en este caso a 3[°C] es de 0,02423[W /m * °C], y dividirla por el largo característico, que al igual que en el ejemplo de la pared lateral exterior, es 4[m]. El valor obtenido para el h_{out} es:

$$h = \frac{Nu_L * k_a}{L} = 8,59[W/m^2C] \quad (D.7)$$

Lo anterior se repite para cada una de las superficies de la casa, paredes laterales, pared frontal, pared trasera y para el techo. En cada uno de los casos considerando si es convección forzada o natural dependiendo si se esta hablando del interior o exterior de la casa, obteniendo distintos valores para los coeficientes de convección h_{in} y h_{out} , respectivamente.

2.Demanda energética para conservar la temperatura de confort al interior de la casa variando la temperatura exterior.

Para realizar el balance de energía se asumirá que habrá una pérdida de energía por las paredes de la casa, esto suponiendo que la temperatura de la casa es mayor que la temperatura exterior. Lo anterior es porque se asume una temperatura de confort al interior de la casa, la cual restringe si encender o no la estufa. La estufa es solo encendida sí la temperatura al interior de la casa es menor a la temperatura de confort, por lo que para efectos de estos cálculos se determinará el calor que se esta perdiendo, por cada una de las superficies, dependiendo de la temperatura exterior de la casa considerando mantener la temperatura de confort en 15 [°C] al interior de la casa.

Para la transferencia de calor se consideró una pared plana que separa dos fluidos en movimiento en donde se quiere conocer la pérdida de calor que va desde el fluido caliente al frío. El calor total se calculará como el calor entregado por al aire caliente al interior de la casa transferido desde las paredes internas a las paredes externas de acuerdo a la ley de enfriamiento de Newton, la que, en régimen estacionario, se transmitirá por conducción a través de la pared como se muestran la siguiente ecuación :

$$Q = U_t * A_{sup}(T_{out} - T_{in}) \quad (D.8)$$

Continuando con el ejemplo anterior, se toma el Área total de la superficie, en este caso de la pared lateral que es 20 [m]. El delta de temperatura se determinará para distintas

temperaturas exteriores T_{out} pero en este ejemplo se utilizará una temperatura de $9[^\circ\text{C}]$, por otro lado la temperatura al interior T_{in} se mantendrá constante en $15[^\circ\text{C}]$. Para obtener el valor de del coeficiente global de transferencia, es necesario conocer valores para la resistencia que existen en la transferencia de calor, para la cual se utilizan los valores de los coeficientes de transferencias obtenidos para el aire al interior y al exterior de la casa. Además se necesita el grosor de la pared, que para el caso de este ejemplo se determinó que el Δx sería de $0,08$ [m] y también la conductividad térmica del material, que para el caso base se utilizó la del poliéster $0,068$ [W /m $^\circ\text{C}$]. De lo anterior de obtiene :

$$\frac{1}{U_t} = \left(\frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}} + \frac{\Delta x}{k} \right) \quad (\text{D.9})$$

$$\frac{1}{U_t} = \left(\frac{1}{1,82[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]} + \frac{1}{8,59[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]} + \frac{0,08[\text{m}]}{0,068[\text{W}/\text{mC}]} \right) = 1,84[\text{m}^2\text{C}/\text{W}] \quad (\text{D.10})$$

Al remplazar el valor del coeficiente global y las temperatura al interior y al exterior se la casa de tiene que la perdida de calor por la pared lateral de la casa es la representada en la siguiente ecuación

$$Q = \frac{20[\text{m}] * (9[\text{C}] - 15[\text{C}])}{1,82[\text{m}^2\text{C}/\text{W}]} = -120,33[\text{W}] \quad (\text{D.11})$$

Los cálculos presentados en esta sección se realizan para cada una de las superficies, es decir, paredes laterales, frontal, trasera y para la el techo. De lo anterior se obtiene la cantidad de calor que se está perdiendo por cada una de las superficies y con el calor que esta perdiendo la casa en su totalidad.

3.Obtención de la cantidad de fuente de combustible de leña para el abastecimiento energético.

Una vez obtenido el calor total que se pierde por cada superficie se procede a calcular el consumo de leña necesaria para poder entregar entregar esa misma energía de forma de mantener la temperatura de confort al interior de la casa. Para realizar lo anterior mencionado. es necesario conocer el poder calorífico de la madera, en este caso se utiliza el poder calorífico de madera con un 20 % que es 4200 [kcal/kg de leña]. Con los siguientes datos y cambios de unidades se calcula la cantidad de madera necesaria para poder entregar el calor correspondiente.

Anexo E

Código python calculo de factores de emisión 1

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 """
4 Created on Sun Mar 27 23:30:40 2022
5
6 @author: Felix
7 """
8
9 import pandas as pd
10
11 T_Filtro = 14
12
13 ciudades = ["Rancagua",
14            "Curicó",
15            "Talca",
16            "Concepción",
17            "Chillan",
18            "Temuco",
19            "Valdivia",
20            "Osorno",
21            "Puerto Montt",
22            "Cochrane",
23            "Punta Arenas"]
24
25
26 def filtrar_y_contar(T_Filtro, ciudades, tipo_serie):
27     for i in ciudades:
28         data = pd.read_csv(tipo_serie+i, index_col='Unnamed: 0')
29
30         data_filtrada = data[data.Temperatura < T_Filtro]
31
32         data_filtrada.index = pd.to_datetime(data_filtrada.index)
33
34         data_filtrada = data_filtrada.resample('Y').count()
35
36         data_filtrada.to_csv(tipo_serie+i+' T '+str(T_Filtro) + ' filtrada')
37
38 filtrar_y_contar(T_Filtro, ciudades, 'Historico')
```

39

40 `filtrar_y_contar(T_Filtro, ciudades, 'Proyección')`

Código python calculo de factores de emisión 2

```
1 #!/usr/bin/env python3
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 """
4 Created on Fri Apr 1 15:12:44 2022
5
6 @author: Felix
7 """
8
9 import numpy as np
10 import pandas as pd
11
12
13 epsilon = 1
14
15 ciudades = ["Rancagua",
16            "Curicó",
17            "Talca",
18            "Concepción",
19            "Chillan",
20            "Temuco",
21            "Valdivia",
22            "Osorno",
23            "Puerto Montt",
24            "Cochrane",
25            "Punta Arenas"]
26
27
28
29 def factor_de_correccion(epsilon, T_filtrar, ciudades):
30
31     fechas = pd.date_range(start="2015", end="2050", freq="Y")
32     df = pd.DataFrame([], index = fechas)
33     for i in range(len(ciudades)):
34         data = pd.read_csv('Proyección'+str(ciudades[i]), index_col='Unnamed: 0')
35
36         data.index = pd.to_datetime(data.index)
37
38         izquierdo = T_filtrar - data
39
40         izquierdo = izquierdo[izquierdo>=0]
41
42         izquierdo = izquierdo.resample('Y').sum()
43
44         derecho = T_filtrar - data["2015"]
45
46         derecho = derecho[derecho>=0]
47
48         derecho = derecho.resample('Y').sum()
49
50     fraccion = (izquierdo-derecho.values[0][0])/derecho.values[0][0]
```



```
51
52     df.insert(i, str(ciudades[i]), fraccion.values, True)
53
54     df.to_csv('Factor de Correccion Temperatura ' + str(T_filtrar))
55
56
57     factor_de_correccion(epsilon, 14, ciudades)
58     factor_de_correccion(epsilon, 15, ciudades)
59     factor_de_correccion(epsilon, 16, ciudades)
```

Anexo F

A continuación se presenta en la tabla F.1 los valores de F_c para todas las regiones desde 2015-2050

Tabla F.1: Factor de Corrección 1 para todas las regiones desde el 2015 hasta el 2050

Años	O´higg.	Maule	Ñuble	Bio-Bio	Arauc.	Rios	Lagos	Aysen	Mag.
2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2016	1,033	1,041	0,891	0,891	0,912	0,973	0,925	1,000	1,000
2017	0,851	0,851	0,975	0,975	1,029	1,123	1,000	1,000	1,000
2018	0,983	0,983	1,084	1,084	1,118	1,177	0,997	1,000	1,000
2019	0,917	0,917	1,000	1,000	1,013	1,073	0,966	1,000	1,000
2020	0,719	0,727	0,886	0,886	1,013	1,096	0,930	1,000	1,000
2021	0,975	0,975	0,946	0,946	0,962	1,065	0,972	1,000	1,000
2022	1,132	0,950	0,946	0,946	1,000	1,085	0,994	1,000	1,000
2023	1,240	1,017	1,084	1,084	1,092	1,154	0,994	1,000	1,000
2024	0,893	0,901	0,851	0,851	0,882	1,038	0,958	1,000	1,000
2025	0,702	0,785	0,866	0,866	0,958	1,031	0,950	1,000	1,000
2026	0,934	0,934	1,025	1,025	1,092	1,115	0,983	1,000	1,000
2027	1,066	1,066	1,094	1,094	1,088	1,138	0,986	1,000	1,000
2028	0,818	0,826	0,817	0,817	0,861	0,938	0,894	0,997	1,000
2029	1,223	1,058	1,104	1,104	1,063	1,104	0,966	1,000	1,000
2030	0,926	0,926	0,965	0,965	0,975	1,004	0,950	1,000	1,000
2031	1,099	0,934	0,936	0,936	0,891	0,977	0,908	1,000	1,000
2032	1,041	0,967	0,916	0,916	0,920	0,985	0,961	1,000	1,000
2033	1,033	0,868	0,916	0,916	0,903	0,958	0,919	1,000	1,000
2034	1,364	1,050	1,010	1,010	0,992	1,012	0,855	0,997	1,000
2035	0,851	0,851	0,901	0,901	0,899	0,946	0,877	0,992	1,000
2036	0,851	0,860	0,911	0,911	0,962	1,004	0,955	1,000	1,000
2037	0,628	0,628	0,802	0,802	0,874	0,992	0,969	1,000	1,000
2038	0,818	0,818	0,921	0,921	0,903	0,919	0,855	0,997	1,000
2039	0,628	0,711	0,723	0,723	0,786	0,892	0,894	1,000	1,000
2040	0,983	0,992	0,886	0,886	0,870	0,915	0,855	1,000	1,000
2041	0,512	0,678	0,752	0,752	0,836	0,919	0,922	0,997	1,000
2042	0,488	0,769	0,738	0,738	0,777	0,888	0,838	1,000	1,000
2043	0,843	0,843	0,802	0,802	0,824	0,858	0,844	1,000	1,000
2044	0,942	0,950	0,931	0,931	0,937	0,965	0,872	1,000	1,000
2045	0,645	0,727	0,792	0,792	0,836	0,962	0,925	1,000	1,000
2046	0,554	0,719	0,752	0,752	0,845	0,923	0,877	0,997	1,000
2047	0,620	0,620	0,797	0,797	0,908	1,038	0,950	0,997	1,000
2048	0,636	0,645	0,787	0,787	0,866	0,938	0,872	0,989	1,000
2049	0,860	0,793	0,822	0,822	0,887	0,919	0,855	0,989	1,000

Anexo G

Gráficos por región Factor de corrección 1

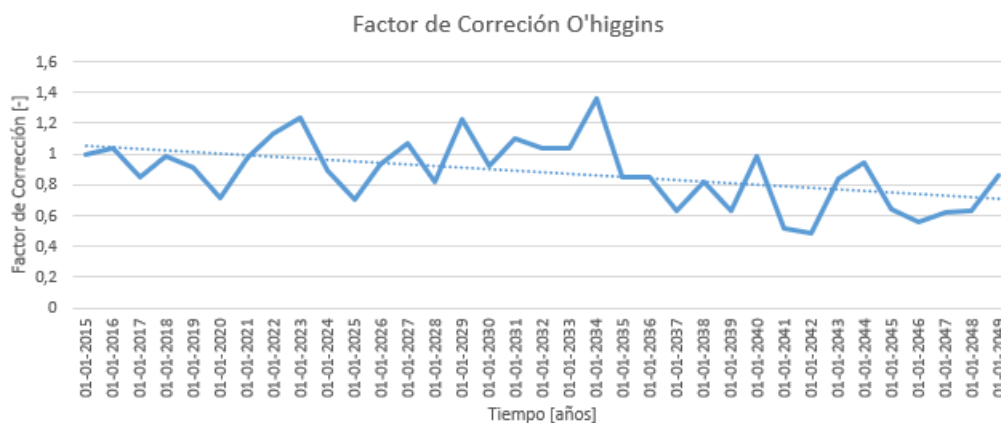


Figura G.1: Factor de corrección Región O´higgins

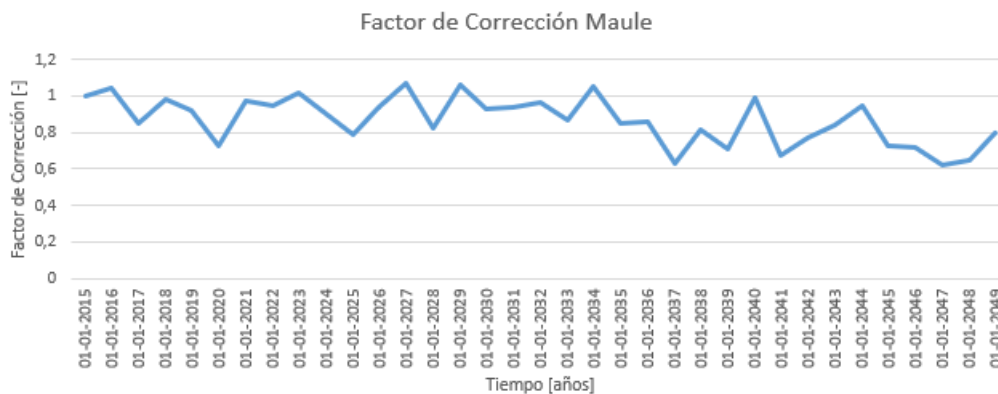


Figura G.2: Factor de corrección Región Maule

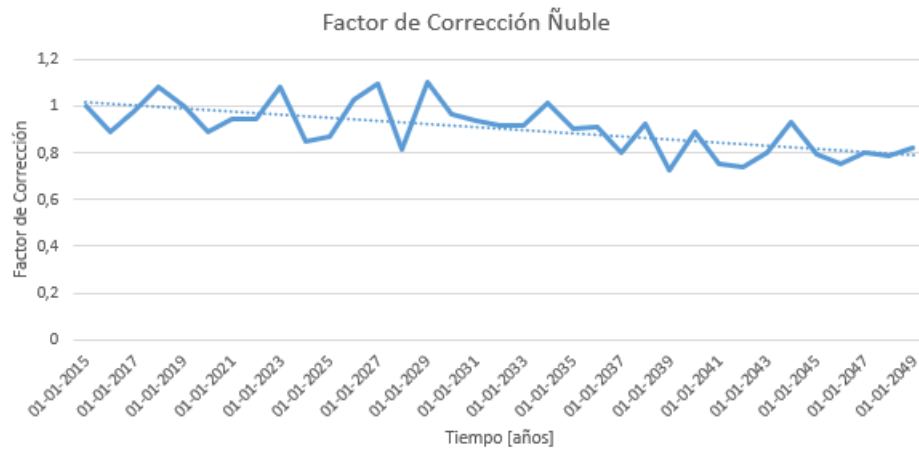


Figura G.3: Factor de corrección Región Ñuble

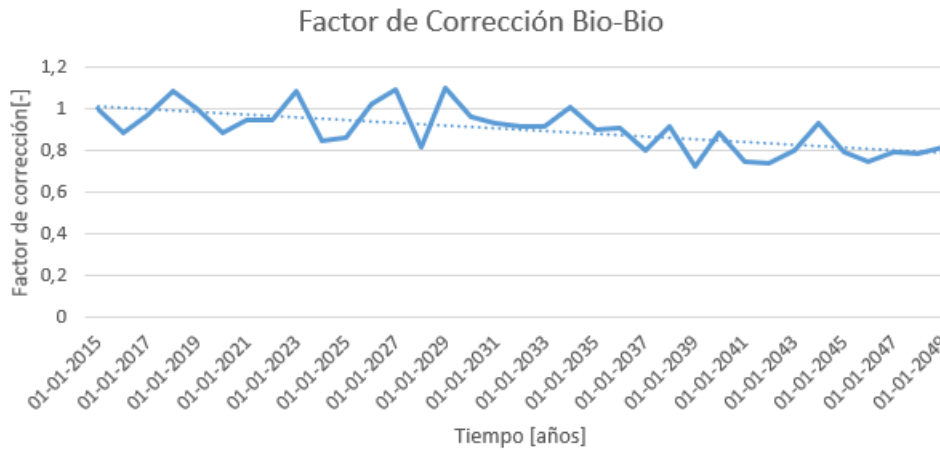


Figura G.4: Factor de corrección Región Bio-Bio

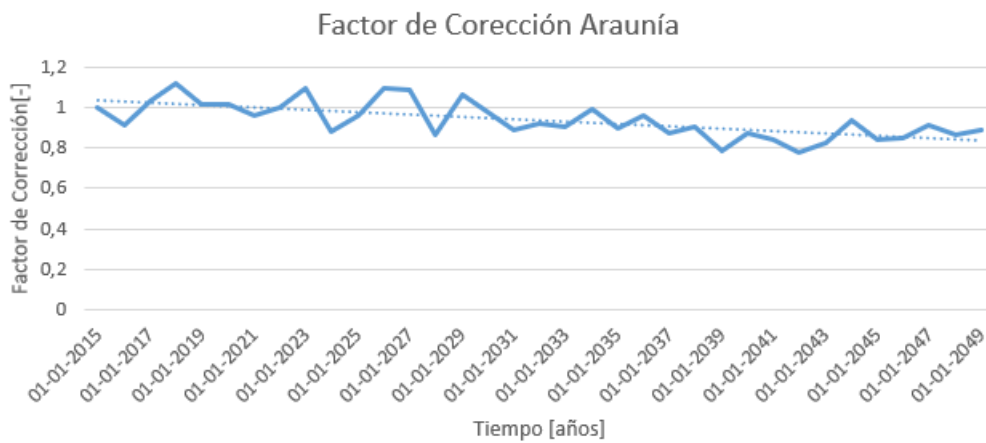


Figura G.5: Factor de corrección Región Araucanía

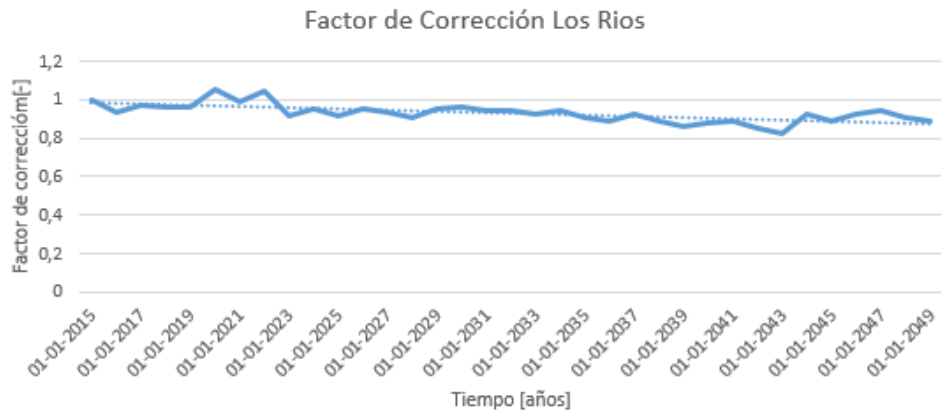


Figura G.6: Factor de corrección Región Los Rios

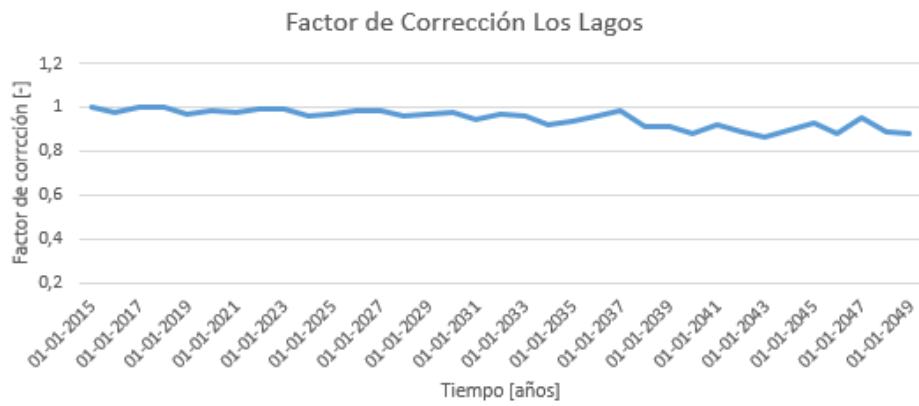


Figura G.7: Factor de corrección Región Los Lagos

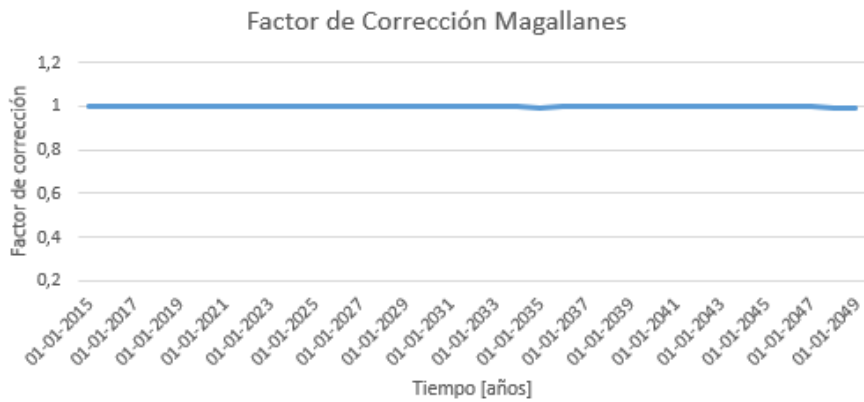


Figura G.8: Factor de corrección Región Magallanes

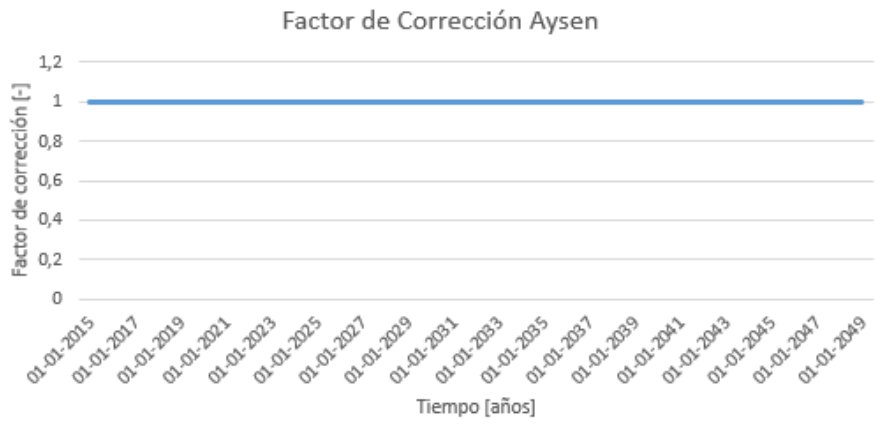


Figura G.9: Factor de corrección Región Aysen

Anexo H

En la tabla H.1 se muestra el consumo de leña en un hogar por hora en función del cambio de la temperatura exterior.

Tabla H.1: Consumo de leña al interior de un hogar en función de la temperatura exterior.

Temp exterior [°C]	Q perdidon [W]	Q perdido [kJ/h]	Consumo Madera[kg/h]
9	1253,431	75205,881	5,133
10	1148,979	68938,724	4,705
11	1044,526	62671,567	4,278
12	940,074	56404,411	3,850
13	835,621	50137,254	3,422
14	731,168	43870,097	2,994
15	626,716	37602,940	2,567
16	522,263	31335,784	2,139
17	417,810	25068,627	1,711
18	313,358	18801,470	1,283
19	208,905	12534,313	0,856
20	104,453	6267,157	0,428

Anexo I

A continuación se presenta en la tabla I.1 los valores de Fc para todas las regiones desde 2015-2050

Tabla I.1: Factor de Corrección 2 para todas las regiones desde el 2015 hasta el 2050

Años	O´higgins	Maule	Bio-Bio	Ñuble	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysen	Magallanes
2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2016	1,036	1,036	0,999	0,999	0,975	0,978	1,001	1,015	1,017
2017	0,900	0,900	0,976	0,976	1,002	1,035	1,078	1,071	1,045
2018	1,089	1,089	1,121	1,121	1,115	1,122	1,116	1,087	1,038
2019	1,014	1,014	1,023	1,023	1,021	1,020	1,030	1,021	0,997
2020	0,845	0,845	0,877	0,877	0,897	0,928	0,957	0,980	1,000
2021	1,019	1,019	1,005	1,005	0,977	0,978	1,001	1,014	0,998
2022	1,233	1,233	1,086	1,086	1,030	1,012	1,021	1,015	1,002
2023	1,290	1,290	1,167	1,167	1,107	1,081	1,055	1,030	1,010
2024	1,081	1,081	1,006	1,006	0,975	0,968	0,998	1,018	1,017
2025	0,810	0,810	0,907	0,907	0,937	0,962	1,011	1,023	1,017
2026	0,966	0,966	1,008	1,008	1,005	1,013	1,027	1,016	1,029
2027	1,036	1,036	1,054	1,054	1,027	1,017	1,011	0,998	1,000
2028	0,922	0,922	0,930	0,930	0,914	0,914	0,928	0,951	1,005
2029	1,169	1,169	1,130	1,130	1,085	1,068	1,050	1,031	1,010
2030	0,891	0,891	0,948	0,948	0,952	0,961	0,975	1,001	1,026
2031	1,050	1,050	1,009	1,009	0,974	0,966	0,978	0,999	1,009
2032	1,060	1,060	1,029	1,029	0,998	1,000	1,016	1,028	1,021
2033	1,025	1,025	0,981	0,981	0,955	0,947	0,968	0,990	1,004
2034	1,311	1,311	1,116	1,116	1,043	1,012	0,974	0,970	0,979
2035	0,913	0,913	0,918	0,918	0,917	0,923	0,932	0,956	0,991
2036	0,987	0,987	0,965	0,965	0,948	0,955	0,970	0,994	0,994
2037	0,776	0,776	0,845	0,845	0,874	0,900	0,963	0,999	0,996
2038	0,908	0,908	0,966	0,966	0,955	0,945	0,941	0,968	0,982
2039	0,815	0,815	0,815	0,815	0,922	0,941	0,887	0,937	0,970
2040	0,945	0,945	0,932	0,932	0,910	0,904	0,915	0,936	0,965
2041	0,685	0,685	0,778	0,778	0,811	0,847	0,905	0,950	0,965
2042	0,730	0,730	0,800	0,800	0,926	0,950	0,890	0,946	0,988
2043	0,906	0,906	0,920	0,920	0,897	0,894	0,915	0,964	0,996
2044	0,997	0,997	0,982	0,982	0,974	0,976	0,979	0,999	1,008
2045	0,725	0,725	0,801	0,801	0,916	0,838	0,887	0,946	0,974
2046	0,703	0,703	0,792	0,792	0,915	0,939	0,890	0,941	0,969
2047	0,715	0,715	0,810	0,810	0,838	0,868	0,920	0,954	0,981
2048	0,828	0,828	0,849	0,849	0,855	0,872	0,907	0,940	0,977
2049	0,835	0,835	0,872	0,872	0,875	0,888	0,911	0,940	0,958

Anexo J

A continuación se muestran en las tablas 5.5-5.13 la base de datos CLPV. CLPV1.1 CLPV2.1 como también las emisiones generadas para cada uno de los casos y regiones.

Región O'higgins

Tabla J.1: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región O'higgins

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	302812	2,735	2,735	2,735	134,186	134,186	134,186
2016	306290	2,766	2,465	2,866	137,234	122,288	142,188
2017	309425	2,789	2,720	2,509	139,792	136,332	125,789
2018	314533	2,792	3,027	3,041	142,289	154,264	154,945
2019	319655	2,806	2,806	2,845	145,307	145,307	147,342
2020	323580	2,838	2,515	2,398	148,772	131,832	125,724
2021	327958	2,859	2,704	2,915	151,909	143,636	154,853
2022	334046	2,871	2,714	3,540	155,346	146,886	191,590
2023	339186	2,898	3,141	3,739	159,216	172,615	205,456
2024	343737	2,911	2,479	3,147	162,091	138,018	175,252
2025	348501	2,922	2,532	2,368	164,995	142,941	133,687
2026	353191	2,940	3,013	2,839	168,227	172,391	162,446
2027	357825	2,967	3,246	3,073	171,982	188,159	178,126
2028	362359	2,975	2,430	2,743	174,656	142,664	161,046
2029	366784	2,993	3,304	3,498	177,859	196,349	207,833
2030	371080	3,002	2,898	2,674	180,457	174,203	160,771
2031	375341	3,007	2,814	3,158	182,868	171,099	192,019
2032	379491	3,023	2,769	3,204	185,871	170,228	196,952
2033	383515	3,030	2,775	3,106	188,241	172,399	192,962
2034	387498	3,032	3,062	3,975	190,328	192,213	249,507
2035	391319	3,041	2,740	2,777	192,759	173,674	176,061
2036	395093	3,051	2,779	3,011	195,293	177,891	192,747
2037	398307	3,063	2,456	2,377	197,615	158,483	153,363
2038	401361	3,081	2,837	2,797	200,336	184,468	181,886
2039	404357	3,085	2,230	2,515	202,094	146,068	164,759
2040	407464	3,081	2,731	2,912	203,400	180,241	192,251
2041	410409	3,092	2,327	2,118	205,605	154,713	140,816
2042	413311	3,095	2,283	2,261	207,219	152,849	151,369
2043	416159	3,099	2,486	2,808	208,948	167,572	189,336
2044	418971	3,110	2,894	3,101	211,075	196,446	210,443
2045	421619	3,127	2,477	2,267	213,603	169,190	154,845
2046	424224	3,137	2,360	2,206	215,585	162,223	151,617
2047	426781	3,139	2,502	2,245	217,037	172,985	155,218
2048	429295	3,146	2,476	2,606	218,770	172,200	181,234
2049	431753	3,150	2,589	2,629	220,349	181,079	183,907

Región Maule

Tabla J.2: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Maule

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	353354	3,369	3,369	3,369	192,870	192,870	192,870
2016	357653	3,393	3,533	3,515	196,573	204,696	203,669
2017	361347	3,412	2,904	3,070	199,714	170,004	179,709
2018	366321	3,426	3,369	3,730	203,284	199,924	221,364
2019	371587	3,457	3,171	3,506	208,113	190,914	211,029
2020	375611	3,486	2,536	2,946	212,147	154,289	179,282
2021	380264	3,502	3,415	3,570	215,754	210,404	219,936
2022	386866	3,522	3,987	4,343	220,718	249,904	272,215
2023	392510	3,532	4,378	4,558	224,582	278,407	289,806
2024	397578	3,555	3,202	3,843	228,955	206,249	247,546
2025	402860	3,567	2,506	2,890	232,781	163,524	188,611
2026	408043	3,589	3,352	3,465	237,230	221,545	229,078
2027	413178	3,606	3,844	3,734	241,343	257,299	249,965
2028	418215	3,621	2,992	3,339	245,313	202,738	226,198
2029	423141	3,635	4,446	4,248	249,171	304,771	291,163
2030	427931	3,649	3,377	3,251	252,943	234,129	225,350
2031	432698	3,658	4,021	3,841	256,427	281,858	269,260
2032	437347	3,679	3,861	3,898	260,639	273,563	276,177
2033	441855	3,694	3,816	3,787	264,421	273,162	271,052
2034	446307	3,699	5,044	4,849	267,434	364,682	350,587
2035	450574	3,707	3,156	3,386	270,584	230,332	247,144
2036	454787	3,712	3,191	3,664	273,515	235,087	269,950
2037	458147	3,732	2,344	2,896	276,997	173,981	214,968
2038	461325	3,744	3,063	3,399	279,777	228,908	254,011
2039	464439	3,767	2,366	3,071	283,440	178,028	231,077
2040	467733	3,774	3,743	3,567	285,989	283,626	270,313
2041	470846	3,781	1,937	2,589	288,397	147,773	197,518
2042	473903	3,798	1,852	2,774	291,556	142,164	212,975
2043	476901	3,809	3,211	3,452	294,279	248,070	266,658
2044	479852	3,815	3,626	3,804	296,584	281,877	295,696
2045	482610	3,825	2,466	2,773	299,027	192,761	216,770
2046	485326	3,837	2,124	2,698	301,650	167,030	212,145
2047	487986	3,843	2,382	2,749	303,843	188,332	217,299
2048	490583	3,847	2,480	3,187	305,711	197,070	253,257
2049	493118	3,851	3,310	3,214	307,673	264,446	256,790

Región Ñuble

Tabla J.3: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Ñuble

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	131527	3,339	3,339	3,339	711,428	711,428	711,428
2016	132240	3,355	3,494	3,353	718,800	748,503	718,237
2017	132549	3,370	2,869	3,289	723,623	615,977	706,215
2018	134097	3,384	3,328	3,793	735,116	722,965	823,992
2019	135190	3,409	3,127	3,489	746,653	684,946	764,197
2020	136035	3,437	2,500	3,013	757,437	550,863	663,895
2021	137352	3,455	3,369	3,471	768,745	749,685	772,423
2022	139823	3,473	3,301	3,773	786,707	747,697	854,539
2023	141798	3,481	3,539	4,063	799,715	812,934	933,371
2024	143465	3,497	3,150	3,516	812,655	732,061	817,214
2025	145200	3,511	2,756	3,185	825,768	648,330	749,134
2026	146887	3,530	3,296	3,557	839,932	784,399	846,438
2027	148550	3,567	3,803	3,761	858,486	915,246	905,000
2028	150176	3,579	2,958	3,329	870,695	719,582	809,818
2029	151763	3,589	3,797	4,056	882,414	933,462	997,113
2030	153301	3,606	3,338	3,420	895,603	828,988	849,415
2031	154833	3,617	3,378	3,650	907,232	847,250	915,629
2032	156317	3,625	3,505	3,728	917,928	887,583	944,127
2033	157746	3,640	3,158	3,570	930,146	807,151	912,381
2034	159154	3,658	3,839	4,082	943,143	989,911	1052,450
2035	160501	3,669	3,123	3,369	954,016	812,096	875,931
2036	161826	3,674	3,158	3,547	963,205	827,879	929,853
2037	163402	3,681	2,312	3,110	974,407	612,025	823,338
2038	164914	3,691	3,020	3,565	986,165	806,862	952,380
2039	166402	3,703	2,632	3,018	998,117	709,405	813,575
2040	167790	3,716	3,685	3,462	1010,066	1001,718	941,150
2041	169107	3,735	2,531	2,905	1023,171	693,389	795,716
2042	170407	3,749	2,882	3,000	1035,011	795,504	828,142
2043	171687	3,760	3,170	3,460	1045,917	881,682	962,274
2044	172954	3,776	3,588	3,708	1057,847	1005,392	1038,897
2045	174147	3,791	2,757	3,035	1069,458	777,787	856,143
2046	175330	3,802	2,734	3,013	1079,967	776,506	855,776
2047	176490	3,810	2,362	3,086	1089,316	675,196	882,408
2048	177632	3,819	2,462	3,243	1099,048	708,477	933,220
2049	178754	3,830	3,039	3,339	1109,046	879,904	967,054

Región Bio-Bio

Tabla J.4: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Bio-Bio

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	575788	5,405	5,405	5,405	504,165	504,165	504,165
2016	578985	5,427	4,836	5,423	509,066	453,623	508,667
2017	580969	5,443	5,308	5,312	512,275	499,595	499,951
2018	589531	5,482	5,943	6,144	523,510	567,567	586,802
2019	595837	5,494	5,494	5,623	530,325	530,325	542,786
2020	600050	5,513	4,885	4,832	535,874	474,858	469,694
2021	605272	5,531	5,230	5,557	542,321	512,789	544,916
2022	613974	5,550	5,248	6,028	552,004	521,944	599,599
2023	621463	5,583	6,053	6,516	562,114	609,421	656,060
2024	628103	5,603	4,771	5,634	570,078	485,413	573,276
2025	634988	5,618	4,867	5,097	577,957	500,706	524,321
2026	641642	5,636	5,776	5,680	585,851	600,353	590,389
2027	648140	5,651	6,183	5,957	593,377	649,190	625,527
2028	654406	5,661	4,624	5,265	600,101	490,182	558,143
2029	660440	5,667	6,256	6,403	606,303	669,335	685,113
2030	666203	5,684	5,487	5,391	613,461	592,203	581,824
2031	671893	5,703	5,336	5,756	620,735	580,787	626,480
2032	677339	5,718	5,236	5,881	627,377	574,578	645,283
2033	682505	5,734	5,252	5,625	634,007	580,650	621,898
2034	687546	5,745	5,802	6,411	639,898	646,234	714,060
2035	692278	5,756	5,186	5,285	645,551	581,635	592,713
2036	696886	5,767	5,253	5,567	651,040	593,027	628,497
2037	703694	5,772	4,629	4,877	657,986	527,692	555,974
2038	710254	5,783	5,325	5,585	665,454	612,745	642,656
2039	716742	5,798	4,190	4,726	673,192	486,565	548,726
2040	722460	5,805	5,144	5,409	679,360	602,007	633,008
2041	727899	5,811	4,373	4,519	685,214	515,607	532,888
2042	733263	5,820	4,293	4,657	691,327	509,939	553,151
2043	738553	5,825	4,671	5,359	696,883	558,887	641,153
2044	743778	5,831	5,427	5,726	702,569	653,876	689,983
2045	748717	5,841	4,627	4,676	708,503	561,191	567,185
2046	753603	5,847	4,399	4,633	713,780	537,102	565,605
2047	758404	5,852	4,664	4,741	719,008	573,071	582,438
2048	763128	5,865	4,617	4,980	725,090	570,740	615,687
2049	767775	5,882	4,833	5,128	731,539	601,166	637,880

Región Araucanía

Tabla J.5: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Araucanía

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	326244	7,679	7,679	7,679	405,863	405,863	405,863
2016	328049	7,698	7,019	7,508	409,120	373,022	399,001
2017	328975	7,711	7,938	7,725	410,961	423,048	411,691
2018	334128	7,746	8,658	8,640	419,295	468,624	467,650
2019	337695	7,759	7,857	7,919	424,476	429,827	433,247
2020	340339	7,780	7,879	6,983	428,973	434,380	384,984
2021	343743	7,801	7,506	7,625	434,428	418,000	424,585
2022	349613	7,823	7,823	8,061	443,061	443,061	456,532
2023	354587	7,852	8,578	8,695	451,063	492,757	499,461
2024	358958	7,869	6,944	7,671	457,613	403,776	446,075
2025	363473	7,884	7,553	7,391	464,244	444,737	435,192
2026	367842	7,899	8,629	7,937	470,710	514,221	472,956
2027	372123	7,918	8,616	8,130	477,315	519,431	490,083
2028	376276	7,927	6,828	7,244	483,221	416,220	441,572
2029	380304	7,942	8,443	8,616	489,320	520,160	530,820
2030	384184	7,950	7,750	7,570	494,807	482,333	471,158
2031	388033	7,969	7,098	7,762	500,939	446,215	487,915
2032	391746	7,986	7,348	7,971	506,786	466,329	505,846
2033	395311	8,006	7,233	7,643	512,739	463,189	489,446
2034	398820	8,019	7,952	8,365	518,119	513,766	540,421
2035	402174	8,032	7,222	7,369	523,297	470,528	480,120
2036	405466	8,045	7,741	7,630	528,436	508,453	501,158
2037	409494	8,057	7,042	7,038	534,504	467,129	466,912
2038	413354	8,065	7,286	7,705	540,056	487,865	515,972
2039	417153	8,075	6,345	7,444	545,713	428,775	503,067
2040	420666	8,089	7,036	7,360	551,262	479,459	501,586
2041	424003	8,101	6,774	6,570	556,458	465,274	451,272
2042	427300	8,108	6,302	7,507	561,247	436,264	519,657
2043	430546	8,113	6,681	7,279	565,875	466,014	507,698
2044	433753	8,118	7,606	7,906	570,416	534,465	555,546
2045	436786	8,127	6,795	7,444	575,029	480,802	526,756
2046	439785	8,131	6,867	7,438	579,275	489,220	529,900
2047	442727	8,138	7,386	6,819	583,668	529,716	489,077
2048	445631	8,149	7,053	6,972	588,308	509,208	503,296
2049	448482	8,159	7,233	7,136	592,777	525,529	518,464

Región Los Ríos

Tabla J.6: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Los Ríos

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	36044	12,883	12,883	12,883	182,999	182,999	182,999
2016	36216	12,913	12,566	12,629	184,426	179,461	180,363
2017	36291	12,921	14,511	13,371	184,968	207,733	191,412
2018	36924	12,953	15,245	14,531	187,592	220,781	210,447
2019	37357	12,990	13,939	13,249	189,656	203,516	193,436
2020	37645	13,009	14,260	12,068	191,128	209,505	177,302
2021	38005	13,034	13,886	12,741	193,339	205,981	188,996
2022	38528	13,062	14,168	13,220	197,253	213,944	199,634
2023	38964	13,100	15,115	14,159	200,613	231,476	216,831
2024	39374	13,127	13,632	12,712	203,397	211,220	196,961
2025	39809	13,143	13,548	12,642	206,111	212,453	198,240
2026	40240	13,166	14,685	13,335	208,862	232,961	211,546
2027	40664	13,187	15,013	13,407	211,561	240,854	215,088
2028	41073	13,204	12,391	12,072	214,151	200,972	195,797
2029	41466	13,217	14,589	14,119	216,625	239,120	231,416
2030	41839	13,228	13,279	12,716	219,009	219,851	210,531
2031	42205	13,244	12,939	12,798	221,473	216,362	214,000
2032	42557	13,260	13,056	13,260	223,860	220,416	223,851
2033	42892	13,276	12,715	12,568	226,184	216,615	214,124
2034	43216	13,290	13,444	13,451	228,445	231,081	231,203
2035	43516	13,306	12,590	12,285	230,648	218,228	212,952
2036	43807	13,320	13,371	12,724	232,799	233,695	222,384
2037	44281	13,330	13,228	11,996	235,245	233,436	211,699
2038	44739	13,344	12,266	12,607	237,672	218,475	224,532
2039	45191	13,353	11,915	12,561	239,966	214,123	225,736
2040	45579	13,363	12,232	12,078	242,154	221,664	218,873
2041	45948	13,373	12,292	11,333	244,229	224,503	206,980
2042	46310	13,379	11,887	12,704	246,235	218,771	233,804
2043	46667	13,388	11,483	11,966	248,242	212,916	221,882
2044	47019	13,397	12,934	13,079	250,248	241,586	244,310
2045	47352	13,404	12,888	11,236	252,096	242,400	211,319
2046	47681	13,410	12,379	12,594	253,930	234,397	238,477
2047	48004	13,419	13,935	11,645	255,772	265,609	221,970
2048	48322	13,431	12,604	11,705	257,660	241,804	224,559
2049	48635	13,441	12,356	11,941	259,493	238,534	230,530

Región Los Lagos

Tabla J.7: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Los Lagos

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	36044	14,086	14,086	14,086	643,685	643,685	643,685
2016	36216	14,108	14,691	14,123	650,180	677,047	650,872
2017	36291	14,118	12,018	15,224	654,545	557,175	705,838
2018	36924	14,150	13,916	15,790	665,991	654,983	743,154
2019	37357	14,166	12,995	14,593	675,521	619,693	695,868
2020	37645	14,193	10,322	13,584	682,162	496,118	652,915
2021	38005	14,212	13,860	14,221	690,061	672,952	690,494
2022	38528	14,243	13,537	14,544	702,048	667,236	716,871
2023	38964	14,267	14,503	15,050	712,331	724,105	751,451
2024	39374	14,285	12,869	14,258	721,735	650,158	720,345
2025	39809	14,304	11,231	14,457	731,455	574,283	739,263
2026	40240	14,329	13,382	14,718	741,311	692,299	761,433
2027	40664	14,350	15,298	14,508	750,863	800,507	759,146
2028	41073	14,365	11,872	13,327	759,984	628,086	705,103
2029	41466	14,376	15,207	15,092	768,706	813,177	807,014
2030	41839	14,387	13,317	14,033	777,231	719,421	758,106
2031	42205	14,408	13,455	14,095	786,262	734,277	769,175
2032	42557	14,422	13,946	14,647	794,720	768,448	807,082
2033	42892	14,439	12,529	13,974	803,052	696,863	777,210
2034	43216	14,442	15,158	14,062	810,561	850,754	789,211
2035	43516	14,454	12,304	13,468	818,231	696,510	762,386
2036	43807	14,469	12,436	14,040	825,945	709,903	801,472
2037	44281	14,473	9,091	13,944	833,508	523,525	803,013
2038	44739	14,475	11,843	13,626	840,546	687,719	791,243
2039	45191	14,475	10,288	12,835	847,443	602,315	751,423
2040	45579	14,488	14,369	13,257	854,832	847,767	782,172
2041	45948	14,503	9,829	13,119	861,984	584,154	779,736
2042	46310	14,507	11,150	12,912	868,382	667,434	772,886
2043	46667	14,506	12,228	13,270	874,413	737,109	799,873
2044	47019	14,509	13,790	14,199	880,585	836,919	861,799
2045	47352	14,512	10,554	12,870	886,400	644,655	786,149
2046	47681	14,508	10,431	12,916	891,740	641,168	793,897
2047	48004	14,514	8,996	13,350	897,567	556,343	825,602
2048	48322	14,523	9,362	13,180	903,550	582,454	819,966
2049	48635	14,528	11,527	13,234	909,132	721,295	828,120

Región Aysen

Tabla J.8: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Aysen

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1[m^2 st]	CLPV2.1[m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	36044	17,512	17,512	17,512	102,257	102,257	102,257
2016	36216	17,551	17,599	17,809	102,972	103,254	104,482
2017	36291	17,554	17,554	18,794	103,200	103,200	110,492
2018	36924	17,607	17,607	19,136	105,321	105,321	114,468
2019	37357	17,589	17,589	17,952	106,444	106,444	108,642
2020	37645	17,623	17,672	17,271	107,477	107,772	105,330
2021	38005	17,646	17,646	17,900	108,646	108,646	110,210
2022	38528	17,697	17,697	17,957	110,456	110,456	112,082
2023	38964	17,717	17,717	18,251	111,835	111,835	115,206
2024	39374	17,745	17,793	18,066	113,184	113,494	115,234
2025	39809	17,764	17,764	18,181	114,561	114,561	117,253
2026	40240	17,789	17,789	18,074	115,964	115,964	117,823
2027	40664	17,791	17,791	17,754	117,200	117,200	116,954
2028	41073	17,811	17,811	16,939	118,509	118,509	112,712
2029	41466	17,836	17,836	18,386	119,814	119,814	123,507
2030	41839	17,846	17,846	17,863	120,959	120,959	121,075
2031	42205	17,861	17,861	17,847	122,118	122,118	122,024
2032	42557	17,865	17,914	18,372	123,167	123,504	126,659
2033	42892	17,873	17,873	17,694	124,193	124,193	122,943
2034	43216	17,903	17,854	17,368	125,340	124,997	121,590
2035	43516	17,894	17,747	17,105	126,144	125,107	120,580
2036	43807	17,894	17,943	17,781	126,991	127,339	126,188
2037	44281	17,899	17,899	17,884	128,401	128,401	128,288
2038	44739	17,904	17,855	17,337	129,762	129,406	125,656
2039	45191	17,908	17,908	16,785	131,103	131,103	122,885
2040	45579	17,908	17,957	16,768	132,226	132,589	123,812
2041	45948	17,907	17,858	17,005	133,289	132,924	126,577
2042	46310	17,942	17,942	16,981	134,603	134,603	127,397
2043	46667	17,952	17,952	17,310	135,718	135,718	130,865
2044	47019	17,959	18,008	17,944	136,794	137,168	136,681
2045	47352	17,972	17,972	17,010	137,864	137,864	130,483
2046	47681	17,979	17,929	16,915	138,874	138,494	130,659
2047	48004	17,970	17,920	17,149	139,744	139,361	133,360
2048	48322	17,970	17,822	16,899	140,669	139,513	132,289
2049	48635	17,997	17,799	16,920	141,792	140,238	133,313

Región Magallanes

Tabla J.9: Consumo de leña y emisiones de MP2,5 región Magallanes

Año	Nv	CLPV [m^2 st]	CLPV1.1 [m^2 st]	CLPV2.1 [m^2 st]	MP2,5 [ton/año]	MP2,5 FC1 [ton/año]	MP2,5 FC2 [ton/año]
2015	58354	17,828	17,828	17,828	168,535	168,535	168,535
2016	59233	17,839	17,888	18,145	171,177	171,646	174,115
2017	59619	17,865	17,865	18,671	172,546	172,546	180,329
2018	59911	17,867	17,867	18,554	173,413	173,413	180,079
2019	60573	17,931	17,931	17,869	175,951	175,951	175,342
2020	61046	17,944	17,993	17,942	177,453	177,939	177,432
2021	62044	17,960	17,960	17,929	180,518	180,518	180,204
2022	63278	17,977	17,977	18,008	184,280	184,280	184,604
2023	63997	17,994	17,994	18,180	186,551	186,551	188,480
2024	64572	18,044	18,093	18,358	188,750	189,267	192,041
2025	65230	18,085	18,085	18,387	191,108	191,108	194,303
2026	65907	18,088	18,088	18,607	193,125	193,125	198,667
2027	66599	18,113	18,113	18,107	195,420	195,420	195,355
2028	67284	18,128	18,177	18,212	197,591	198,133	198,512
2029	67965	18,122	18,122	18,308	199,525	199,525	201,581
2030	68616	18,128	18,128	18,605	201,511	201,511	206,808
2031	69271	18,148	18,148	18,318	203,654	203,654	205,567
2032	69900	18,164	18,214	18,554	205,687	206,251	210,099
2033	70513	18,183	18,183	18,251	207,710	207,710	208,482
2034	71106	18,174	18,174	17,801	209,350	209,350	205,056
2035	71673	18,175	18,175	18,015	211,027	211,027	209,170
2036	72232	18,180	18,230	18,079	212,734	213,317	211,552
2037	72821	18,189	18,189	18,111	214,572	214,572	213,656
2038	73386	18,193	18,193	17,865	216,285	216,285	212,384
2039	73942	18,207	18,207	17,661	218,099	218,099	211,548
2040	74484	18,211	18,261	17,567	219,743	220,345	211,972
2041	74993	18,219	18,219	17,575	221,335	221,335	213,519
2042	75492	18,221	18,221	18,002	222,835	222,835	220,158
2043	75982	18,212	18,212	18,145	224,175	224,175	223,341
2044	76471	18,205	18,255	18,342	225,535	226,153	227,228
2045	76918	18,201	18,201	17,720	226,802	226,802	220,805
2046	77369	18,202	18,202	17,631	228,143	228,143	220,988
2047	77809	18,217	18,217	17,874	229,626	229,626	225,304
2048	78237	18,233	18,283	17,817	231,094	231,728	225,819
2049	78656	18,229	18,229	17,457	232,274	232,274	222,436