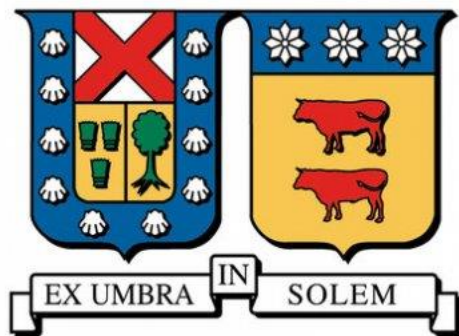




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

**EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE ALTERNATIVAS DE SUBSIDIOS PARA
EL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA IMPLEMENTADO EN LA
COMUNA DE OSORNO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO COMERCIAL

AUTOR

PATRICIA ALEJANDRA PEREIRA MONSALVE

PROFESOR GUÍA

FRANCISCO OMAR LAGOS PERALTA

SANTIAGO, 31 DE DICIEMBRE, 2017.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se realiza una evaluación socioeconómica de tres alternativas subsidiarias en el marco de la implementación del Plan de Descontaminación Atmosférica llevado a cabo en la Comuna de Osorno, el cual busca disminuir las actuales concentraciones de material particulado producto de la combustión residencial a leña. Las alternativas evaluadas corresponden a un Subsidio a la Compra de Leña Seca, un Subsidio al Recambio de Calefactores y un Subsidio para el Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

Los resultados obtenidos permiten concluir en primera instancia, la conveniencia de implementar un Subsidio a la Compra de Leña Seca. No obstante, al realizar una modificación en el parámetro relacionado con el Modo de operación de los Artefactos, se observa que la medida del Recambio de Calefactores, se presenta como la opción más conveniente de realizar.

En cuanto al Reacondicionamiento de las Viviendas, se concluye que no representa una alternativa viable de llevar a cabo en la Comuna, independiente del modo de operar los artefactos, puesto que presenta altos costos de implementación y bajos índices de desempeño.

Independiente de la medida que se implemente en la Comuna de Osorno, ésta debiese ser apoyada con educación y sensibilización de la población, ya que constituye un pilar fundamental dentro de las mejoras que se puedan lograr en términos ambientales.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por el amor que me han entregado.

A mi hermana, que siempre ha sido mi ejemplo a seguir.

A mis familiares por el apoyo constante durante este largo proceso.

A mis amigos de la vida, por ser esa válvula de escape a mis preocupaciones.

A Rodrigo Miranda, por sus consejos que permitieron el desarrollo de esta evaluación.

A mi Profesor Guía, Francisco Lagos, por enseñarme a confiar en mí y en mis capacidades.

A todos, ¡Muchas Gracias!

“Será un Ingeniero, dice el Abuelo”

*Esto va dedicado para Ustedes, para mis cinco abuelos que ya no están conmigo,
pero que me acompañan y guían en cada paso y logro de mi vida.*

Espero que donde estén, se sientan orgullosos de mí.

Índice de Contenidos

1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo General	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	MARCO TEÓRICO	13
3.1	Contaminación Atmosférica y el Contexto Internacional	13
3.2	Calidad del Aire en Chile	17
3.3	Calidad del Aire en Osorno	21
3.4	Emisión de Contaminantes	23
3.5	Gestión de Episodios Críticos	27
3.6	Impactos de la Contaminación Atmosférica	28
3.6.1	Efectos sobre la Salud	28
3.6.2	Daño a Materiales	29
3.6.3	Efectos sobre la Visibilidad	29
3.6.4	Impactos en la Flora y Fauna	30
3.7	Planes de Descontaminación Atmosférica	30
3.7.1	Plan de Descontaminación Atmosférica Osorno, PDAO	32
4	ALCANCES	36
4.1	Alternativas para la Evaluación	36
4.2	Contaminantes	36
4.3	Horizonte del Estudio	37
4.4	Consideraciones en Efectos	37
4.5	Consideraciones en Mejoras	38
5	METODOLOGÍA	39
5.1	Recopilación y Análisis de Datos de Estudios relevantes	39
5.2	Estimación de la Concentración de MP _{2,5} Reducida	40
5.2.1	Escenario Base: Sin Implementación de Medidas	41
5.2.2	Alternativa 1: Subsidio a la Compra de Leña Seca	55
5.2.3	Alternativa 2: Subsidio al Recambio de Calefactores	59
5.2.4	Alternativa 3: Subsidio al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas	62

5.3	Estimación de Costos	65
5.3.1	Alternativa 1: Subsidio a la Compra de Leña Seca	66
5.3.2	Alternativa 2: Subsidio al Recambio de Calefactores.....	67
5.3.3	Alternativa 3: Subsidio al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.....	69
5.4	Estimación de Beneficios.....	71
5.4.1	Valorización de los efectos.....	74
5.5	Criterio de Selección de las Alternativas de Subsidios.....	76
5.6	Análisis de Sensibilidad	77
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
6.1	Subsidios Aplicados	78
6.2	Evolución en las Concentraciones de MP _{2,5}	80
6.3	Beneficios en la Salud de la Población	82
6.4	Rentabilidad de las Alternativas.....	84
6.5	Efectividad de las Alternativas	87
6.6	Eficiencia de las Alternativas.....	88
6.7	Análisis de Sensibilidad	89
6.7.1	Variación en las Concentraciones de MP _{2,5} de las Alternativas	89
6.7.2	Variación en los Beneficios de la Salud de la Población.....	91
6.7.3	Variación Rentabilidad de las Alternativas.....	93
6.7.4	Variación Efectividad de las Alternativas	96
6.7.5	Variación Eficiencia de las Alternativas.....	96
7	CONCLUSIONES	98
8	RECOMENDACIONES	101
9	REFERENCIAS.....	103
10	ANEXOS	108
10.1	Registro de Mediciones de Concentración de MP _{2,5} Periodo 2008-2013	108
10.2	Concentraciones MP _{2,5} Osorno Año 2015	109
10.3	Cálculo de Emisiones Provenientes de otras Fuentes.....	110
10.4	Proyección Viviendas en Osorno 2015-2025	111
10.5	Distribución Viviendas por Nivel Socioeconómico.....	111
10.6	Tasa Natural de Recambio de Artefactos.....	112
10.7	Distribución Número de Artefactos por Nivel Socioeconómico y tipo de Vivienda	114

10.8	Características de la Leña Consumida	115
10.9	Variación Kg de Leña Consumida	117
10.10	Cálculos para Viviendas con Reglamentación Térmica y Artefactos Antiguos.....	119
10.11	Vivienda Tipo Promedio Osorno	119
10.12	Población Comuna de Osorno 2015-2025	120
10.13	Población Potencialmente Afectada	123
10.14	Emisiones y Concentraciones de $MP_{2,5}$	124
10.15	Casos Proyectados y Evitados	126
10.16	Beneficios Económicos de las Alternativas	130
10.17	Costos de las Alternativas	133
10.18	Análisis de Sensibilidad: Emisiones y Concentraciones de $MP_{2,5}$ con Buena Operación de Artefactos	134
10.19	Análisis de Sensibilidad: Casos Evitados con Buena Operación de Artefactos	136
10.20	Análisis de Sensibilidad: Beneficios Económicos con Buena Operación de Artefactos.....	139

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad se ha hecho evidente la creciente preocupación a nivel mundial acerca del cuidado del Medio Ambiente y en particular, sobre el estado y calidad del aire al que está expuesto a diario la población mundial.

"El aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humanos. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza para la salud en todo el mundo" (Organización Mundial de la Salud OMS, 2005).

La preocupación ha sido tal, que dicho organismo ha publicado Guías de la Calidad del Aire, las cuales se han actualizado desde el año 1987, proporcionando a los países miembros, directrices y estándares mundiales sobre la calidad ambiental. Se vuelve entonces relevante, destacar los datos planteados por la OMS (2005), quien a través de estudios y evaluaciones ha determinado que, al año más de dos millones de muertes prematuras pueden ser atribuidas a los efectos de la contaminación del aire, tanto en espacios cerrados como públicos.

El material particulado es el contaminante que más significativamente ha sido asociado a eventos de mortalidad y morbilidad en la población (Pope & Dockery, 2006). Este contaminante se clasifica según su diámetro, característica de la cual depende la intensidad de sus impactos. Comúnmente se utilizan dos métricas de clasificación, partículas menores a 10 micrones de diámetro, conocida como MP_{10} y partículas con diámetros menores a 2,5 micrones, conocida como $MP_{2,5}$.

Cabe señalar que la fracción fina de contaminantes $MP_{2,5}$, está compuesta por partículas suficientemente pequeñas que penetran en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y

alvéolos, lo que aumenta el riesgo de mortalidad prematura por efectos cardiopulmonares, en exposiciones de corto y largo plazo (CONAMA, 2010).

En cuanto a la fracción gruesa MP₁₀, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU recalca que "existe una aparente relación entre la exposición de corto plazo y los efectos respiratorios y cardiovasculares" (EPA,2009).

Frente a este escenario y a las diversas publicaciones sobre los nocivos efectos de la mala calidad del aire en las personas, Chile ha tomado medidas al respecto, por medio de la implementación de diversas políticas públicas y planes de descontaminación, en pro de disminuir la emisión de material particulado presente en la atmósfera.

Al alero de lo anterior, el 12 de enero de 2010 se crea el Ministerio del Medio Ambiente, promulgado por la Presidenta Michelle Bachelet bajo la Ley N° 20.417, que viene a reemplazar a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, entrando en operación en octubre del mismo año.

La creación de un organismo gubernamental ha abierto oportunidades para desarrollar gestiones de avance en protección del entorno y de la población. En este contexto, se crean Los Planes de Descontaminación Atmosférica 2014-2018, que basado en los planteamientos del D.S. N°47 Ministerio del Medio Ambiente (2015) tienen por finalidad determinar una estrategia a nivel nacional, considerando la contaminación atmosférica como un problema país, lo cual permitirá alinear esfuerzos con el fin de elaborar medidas estructurales, que permitan a la vez optimizar los recursos sectoriales de las zonas saturadas.

Diversas ciudades del sur de nuestro país, presentan altos niveles de contaminación, proveniente principalmente de la combustión residencial a leña, mermando la calidad del aire

que se respira en ellas. En específico, el uso de leña en la comuna de Osorno, constituye la principal fuente de emisión de material particulado (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

De acuerdo a estadísticas de la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2006), la leña ocupa el 2° lugar en la matriz energética nacional. Como combustible de bajo costo, de producción local y descentralizada, tiene ventajas ineludibles, sin embargo, su uso ineficiente y falta de regulación trae consecuencias negativas para la población, ya que la leña genera ambos tipos de contaminantes, anteriormente mencionados.

El Plan de Descontaminación Atmosférica de Osorno, PDAO, es un instrumento de gestión ambiental, el cual tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias de calidad ambiental en una zona saturada. Implementado desde inicios del 2016, el Plan contempla 4 ejes estratégicos:

- ✓ Educación y sensibilización de la comunidad.
- ✓ Mejoramiento térmico de las viviendas.
- ✓ Mejoramiento de la eficiencia de los artefactos de combustión a leña.
- ✓ Mejoramiento de la calidad de la leña y disponibilidad de otros combustibles.

El PDAO plantea que: "Se espera que un plazo de 10 años, se puedan registrar índices normales de material particulado respirable MP_{10} y material particulado fino respirable $MP_{2,5}$ cuyos niveles alcanzados en los últimos años determinaron que Osorno fuera declarada zona saturada" (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Implementar medidas como el recambio de calefactores, el reacondicionamiento térmico de las viviendas o la adquisición de leña seca, se traduce en una reducción en la emisión de material particulado a la atmósfera y, por tanto, en una mejora en la calidad de

vida de la población. No obstante, lo anterior, la implementación de dichas medidas, establece un alto costo, tanto para los hogares como para el gobierno, representando un escenario problemático y de alta complejidad. De ahí nace la importancia y relevancia de los subsidios, debido a que éstos constituyen un mecanismo de cooperación mutua entre los agentes involucrados.

En consecuencia, cabe preguntarse ¿Es necesario realmente la implementación de un Plan de Descontaminación Atmosférica en la Comuna de Osorno? ¿Qué tan mala es la situación, de acuerdo a las normas vigentes? ¿Estará la población dispuesta a asumir los costos de cambiar sus patrones de comportamiento, en pro de mejorar la calidad del aire? ¿Podrá un subsidio incentivar dicho cambio conductual? Y en cuanto al Gobierno, ¿Cuál será el mejor mecanismo de acción, tal que, por un lado maximice el beneficio social generado por una mejora en la calidad del aire, y por el otro minimice los costos de implementación, ajustándose al limitado presupuesto?.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar las alternativas de subsidios para el Plan de Descontaminación Atmosférica, llevado a cabo en la comuna de Osorno, mediante la comparación de escenarios proyectados y análisis de sensibilidad, con el fin de establecer la mejor propuesta a implementar.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar las emisiones y concentraciones de $MP_{2,5}$, mediante el cálculo de los niveles de actividad asociados al consumo de leña para cada alternativa, con el objetivo de establecer la medida que logra un mayor impacto en la reducción del contaminante en estudio.
- Cuantificar los beneficios económicos generados por cada alternativa y sus costos de implementación respectivos, por medio de la estimación de casos evitados y subsidios aplicados, con el fin de establecer la conveniencia de las alternativas.
- Analizar el comportamiento y desempeño de las alternativas frente a variaciones en el modo de operación de los artefactos, a través de un análisis de sensibilidad, con el objeto de observar si existen cambios en la conveniencia de la implementación de las alternativas.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Contaminación Atmosférica y el Contexto Internacional

La atmósfera es una mezcla compleja de gases y otras sustancias que provee el oxígeno necesario para la vida, constituyendo un elemento vital para la continuidad y el desarrollo de nuestro planeta. Sus características no son estables, por lo cual depende de las decisiones, acciones y actividades que desarrollan los seres humanos a diario. Lamentablemente, el uso y abuso de combustibles fósiles, la destrucción de bosques, el uso de vertederos, entre otras prácticas, contribuyen a incrementar el efecto invernadero, hasta el punto de constituir una amenaza para el sistema climático de La Tierra (Ataz & De Mera Morales, 2004).

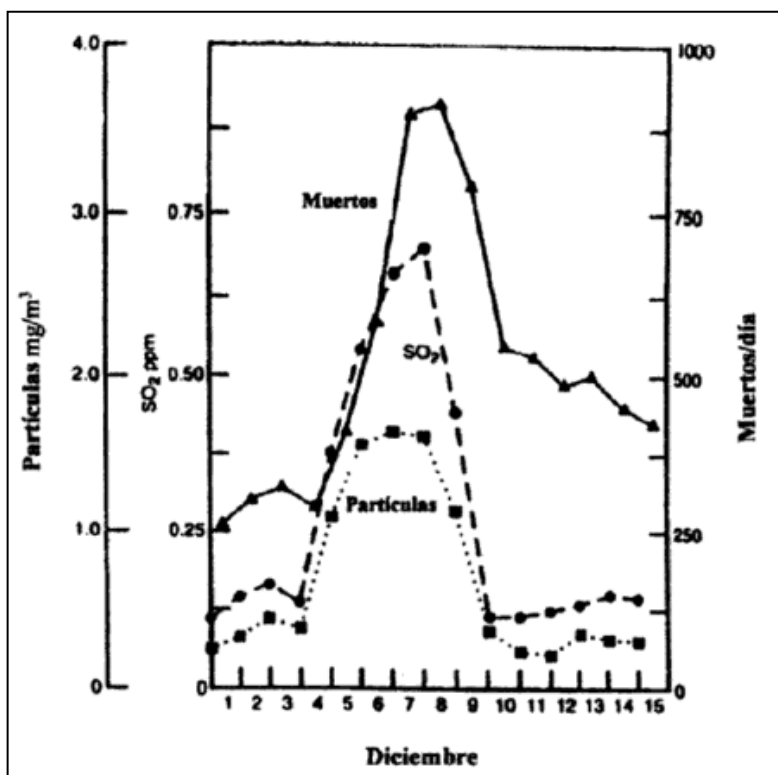
La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas asociados al siglo XXI a nivel mundial. La industrialización y el acelerado desarrollo de las urbes, ha generado progreso y crecimiento de una gran cantidad de economías a lo largo del tiempo, mejorando los estándares de vida de sus ciudadanos. Sin embargo, de la mano de dicho progreso, se ha forjado un creciente deterioro del Medio Ambiente.

La Revolución Industrial, con la invención de la máquina a vapor ocurrida en el siglo XVIII, representa el punto de inflexión y cambio respecto de la aceleración de emisiones de contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, recién a comienzos del siglo XIX, la contaminación pasó a considerarse un problema relevante en el contexto global (Lacasaña-Navarro, Aguilar-Garduño & Romieu, 1999).

Tal como menciona el estudio desarrollado por Lacasaña-Navarro et al. (1999), existen diversos episodios de excesos de mortalidad debido a la exposición de elevados niveles de concentración de sustancias tóxicas en el ambiente, que pone en manifiesto una de las principales externalidades de la contaminación atmosférica, el daño en la salud de la

población, dentro de los cuales se destacan los casos de Meuse Valley en Bélgica en el año 1930, Donora en Pensylvania, Estados Unidos en el año 1948 y el de Londres, Inglaterra en 1952, siendo este último episodio de contaminación, uno de los más recordados en la historia reciente, debido a la muerte de más de 4.000 personas, dando origen al llamado "Smog Reductor", caracterizado por altas concentraciones de SO_2 y material particulado $\text{MP}_{2,5}$ presentes en una densa niebla.

Figura 1: Concentración de SO_2 , $\text{MP}_{2,5}$ e índice de mortalidad durante el episodio de Smog en Londres, Diciembre 1952.



Fuente: Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004).

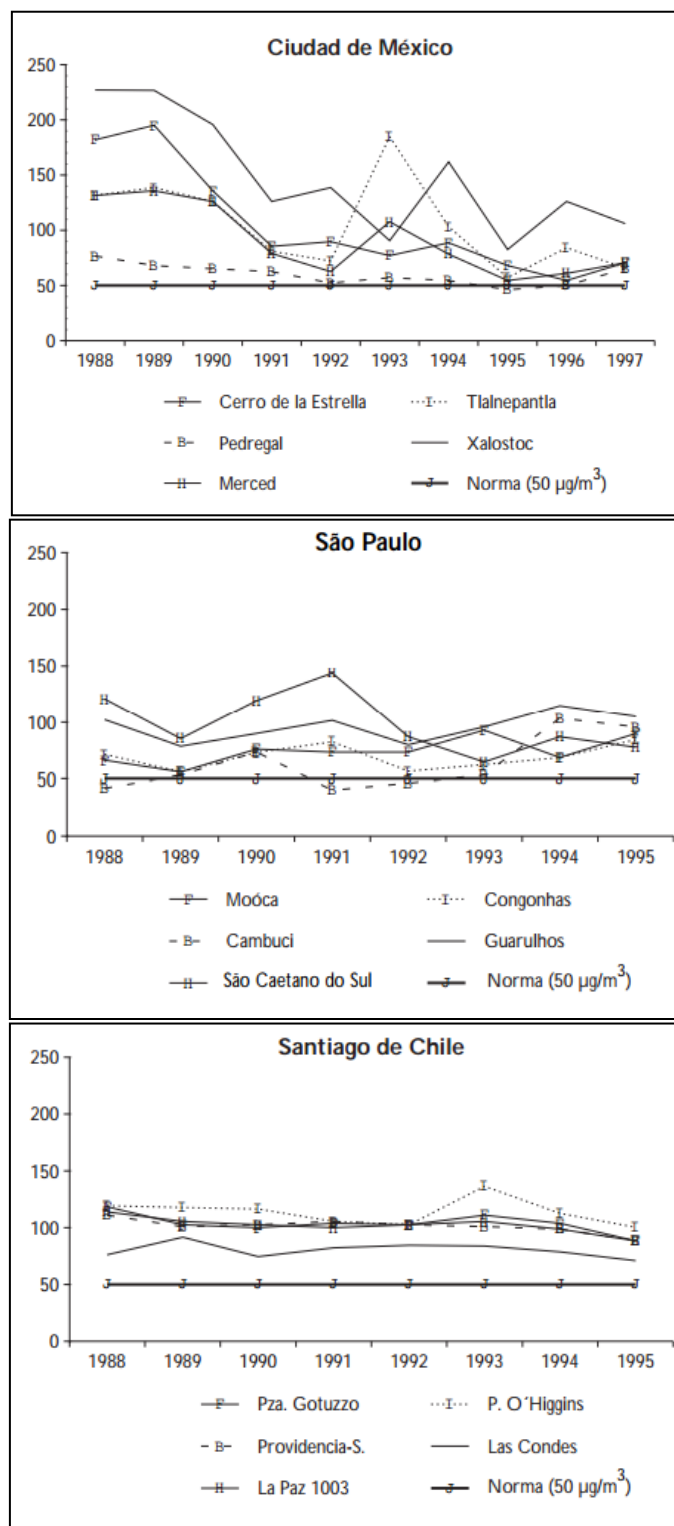
Estos incidentes, sumados al continuo y evidente deterioro de la calidad del aire, condujeron a la toma de conciencia por parte de organismos internacionales y la comunidad

en general, lo cual propició y dio paso al surgimiento de diversas convenciones internacionales, con el objeto de formar acuerdos de cooperación entre gobiernos, para disminuir y controlar la emisión de contaminantes al ambiente. Dentro de ellos, se destacan la Primera Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano (Suecia, 1972), el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (Austria, 1985) y la Cumbre Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (Brasil, 1992 y Sudáfrica 2002). (Romero, Diego & Álvarez, 2006).

Latinoamérica no ha sido la excepción en cuanto a la toma de acciones respecto de la preservación del Medio Ambiente. Distintos gobiernos han desarrollado e implementado programas para controlar los efectos nocivos de la contaminación atmosférica dentro de sus fronteras. Países ejemplo de ello son: Brasil para la ciudad de Sao Paulo en 1979, México para Ciudad de México en 1986 y Chile para la ciudad de Santiago en 1990. De acuerdo a Lacasaña-Navarro et al (1999), cada uno de estos países ha logrado disminuir las concentraciones de contaminantes presentes en la atmósfera, por medio de la inclusión de medidas en áreas como transporte, industrias y servicios, así como también, a través de la integración de políticas metropolitanas y de la implementación de programas de educación y participación ciudadana.

A continuación, se presentan gráficas con la evolución de la concentración de contaminantes de las 3 ciudades anteriormente mencionadas.

Figura 2: Evolución del Promedio Aritmético Anual de MP_{10} en $\mu G/M^3$ en Ciudad de México, Sao Paulo y Santiago 1988-1997



Fuente: Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004).

El contexto internacional y la evidencia empírica expuesta, recalcan nuevamente, la importancia en el desarrollo y aplicación de políticas gubernamentales orientadas al monitoreo y control de emisiones de contaminantes a la atmósfera, en pro de asegurar una mejor calidad de vida para la población actual, así como también, para las futuras generaciones.

En el capítulo siguiente se abordará el dilema de la contaminación atmosférica, desde una perspectiva nacional.

3.2 Calidad del Aire en Chile

En el caso de Chile, la contaminación atmosférica está definida por el Ministerio del Medio Ambiente como la “presencia en el medio de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente”. Ésta a su vez, define y determina contaminante como "todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental." (Ley N°19.300 Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994).

La preocupación por la contaminación atmosférica y la calidad del aire en Chile se remonta a comienzos del siglo XX, siendo las primeras normas de emisión y calidad del aire dictadas en 1961 y 1978, respectivamente. Posterior a esto, año a año se han realizado estudios y procesos de revisión de normativas, con el fin de actualizar la vigencia de éstas. Como consecuencia de ello, en 1990 se implementa por primera vez en Chile un Plan de

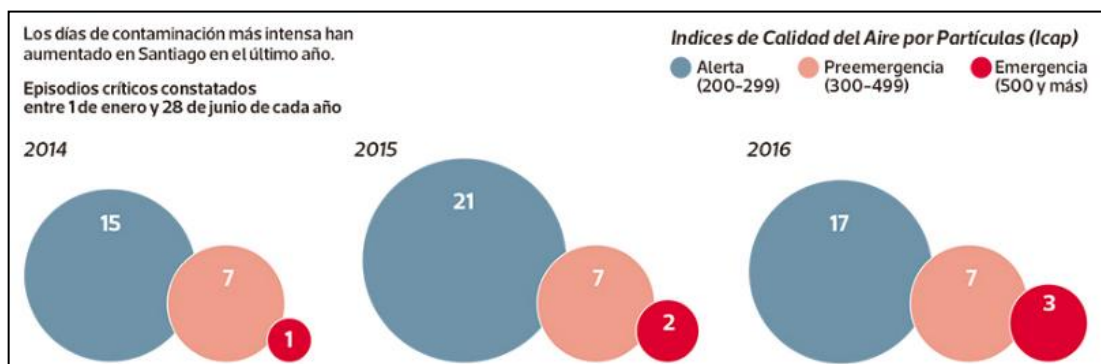
Descontaminación Atmosférica (PDA), el cual tiene como objetivo principal disminuir las emisiones de contaminantes en la ciudad de Santiago. De acuerdo a lo planteado por el Ministerio del Medio Ambiente (s.f), se mencionan a continuación algunas de las medidas adoptadas en la capital de Chile:

- ✓ Ampliación de la red de monitoreo de contaminantes atmosféricos.
- ✓ Regulación de fuentes fijas (Sector Industrial).
- ✓ Control de emisión de fuentes móviles y regulación del sistema de transporte.
- ✓ Regulación de emisiones residenciales.
- ✓ Mejorar la calidad de la infraestructura vial, con el objeto de reducir las emisiones de polvo en suspensión.
- ✓ Aplicación del Programa de Emergencia de Descontaminación Atmosférica en los meses de mayo-agosto de cada año.

Producto de las políticas de control y monitoreo implementadas, la evolución de la calidad del aire en Santiago ha mostrado una importante mejoría respecto de años anteriores. Estudios realizados por O'Ryan & Larraguibel (2000) demuestran el avance logrado en Santiago, tanto para emisiones de particulado MP_{10} como para $MP_{2,5}$, tras 10 años de la implementación del PDA. Sin embargo, en la última década, debido al crecimiento explosivo del parque vehicular y del sector industrial, nuevamente se han registrado escenarios críticos de mala calidad del aire. (Figura 3).

Es necesario señalar que la contaminación del aire puede provenir de diversas fuentes, las cuales no necesariamente son similares en otras ciudades del país, por lo cual el diseño de los Planes de Descontaminación debe realizarse de manera específica para cada zona saturada.

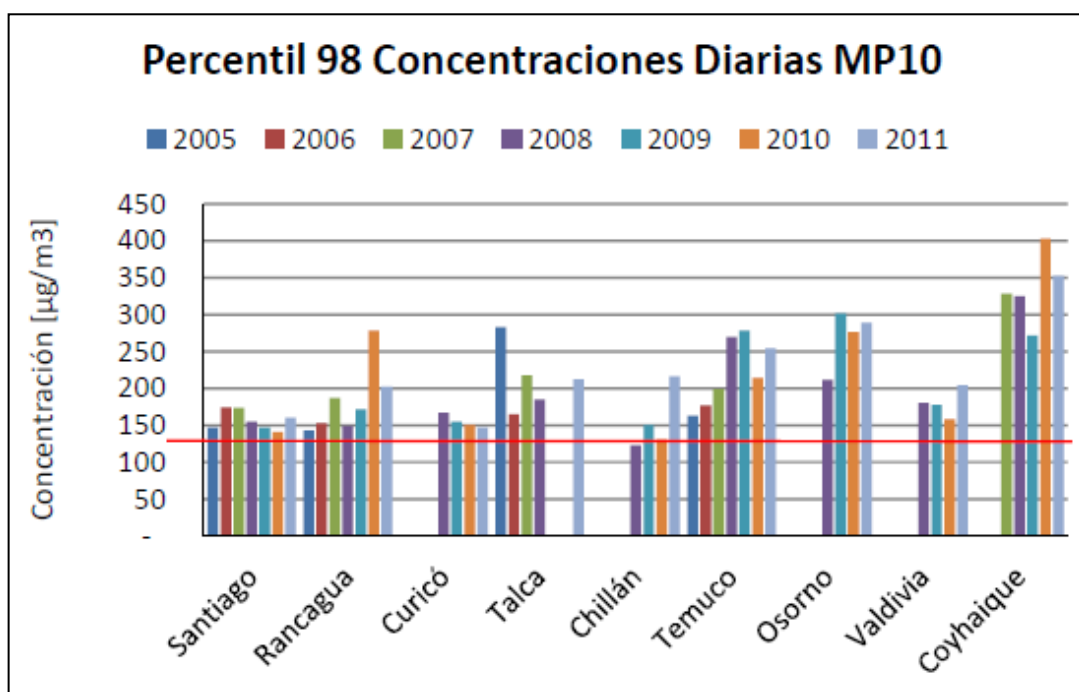
Figura 3: Número de episodios críticos: Alertas, Preemergencias y Emergencias ambientales en Santiago, años 2014-2016.



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2016).

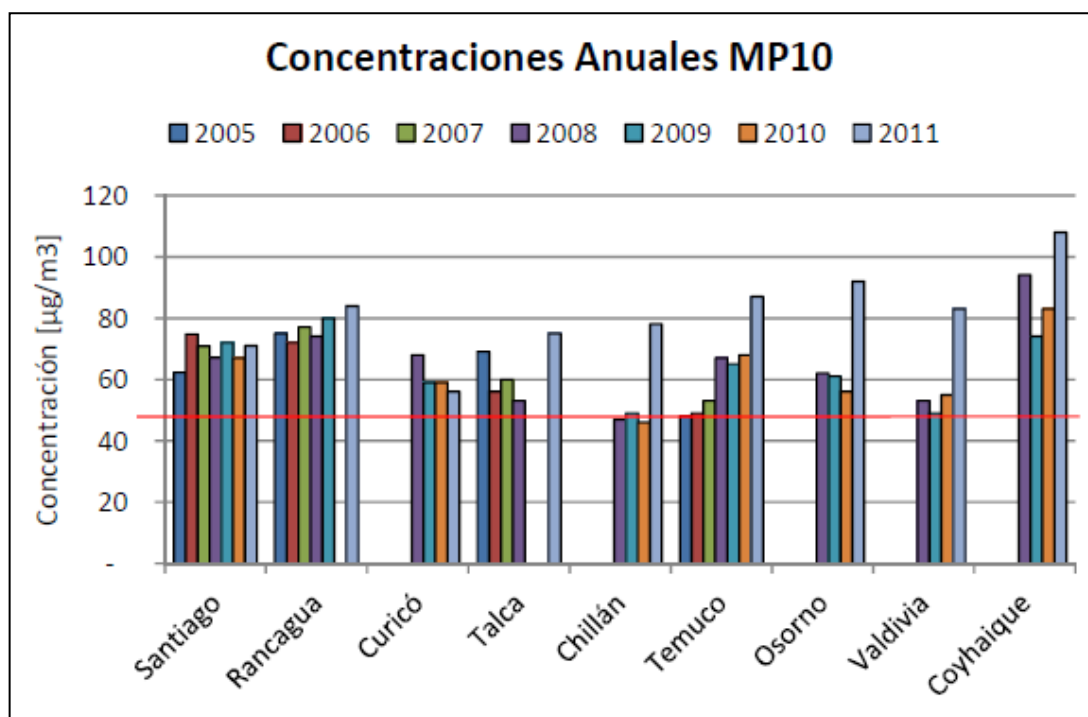
La ciudad de Santiago no es la única que presenta estados críticos de contaminantes atmosféricos. De acuerdo a estudios realizados por Pereira (2012) existen diversas ciudades, en distintas regiones a lo largo de Chile que alcanzan niveles superiores a los límites permitidos por la Norma Primaria de Calidad del Aire.

Figura 4: Concentraciones Diarias de MP₁₀ en distintas ciudades de Chile periodo 2005-2011



Fuente: Pereira, A. (2012).

Figura 5: Concentraciones Anuales de MP₁₀ en distintas ciudades de Chile periodo 2005-2011



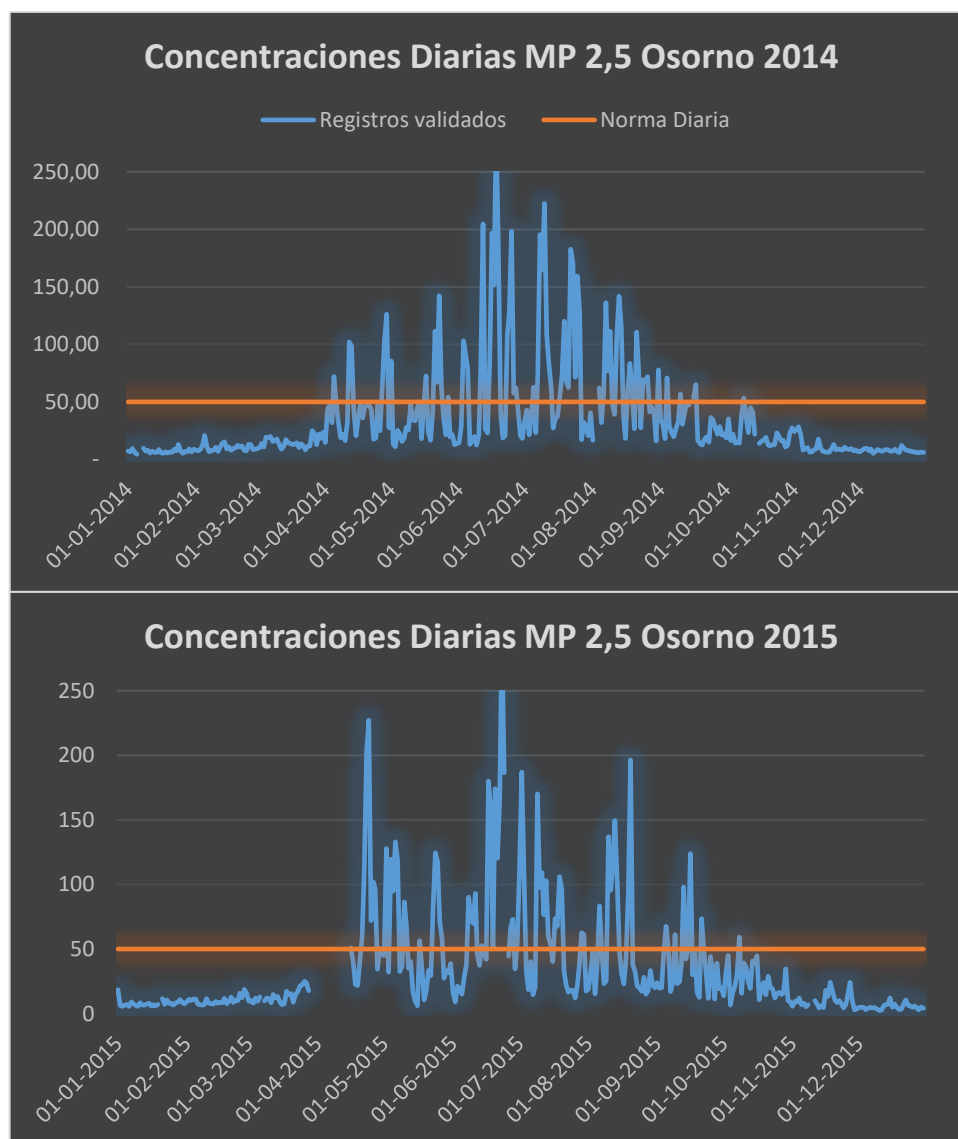
Fuente: Pereira, A. (2012).

Los datos expuestos ponen de manifiesto la urgencia en la toma de acciones, tendientes a producir cambios en materia ambiental a lo largo y ancho de nuestro territorio. Dichos cambios se han generado a través de la creación de los Planes de Descontaminación Atmosférica Estrategia 2014-2018, impulsado por el gobierno de Michelle Bachelet, el cual busca determinar una estrategia a nivel nacional, considerando la contaminación atmosférica como un problema país, lo cual permitirá alinear esfuerzos con el fin de elaborar medidas estructurales, que permitan a la vez optimizar los recursos sectoriales de las zonas saturadas.

3.3 Calidad del Aire en Osorno

La situación específicamente en la Comuna de Osorno, no es distinta del panorama nacional anteriormente presentado. Tanto en el Año 2014, como en el 2015, las concentraciones de material particulado fino exceden la norma diaria, tal como se aprecia en las siguientes gráficas:

Gráfico 1 y 2: Concentraciones Diarias de MP_{2,5} en Osorno periodo 2014-2015

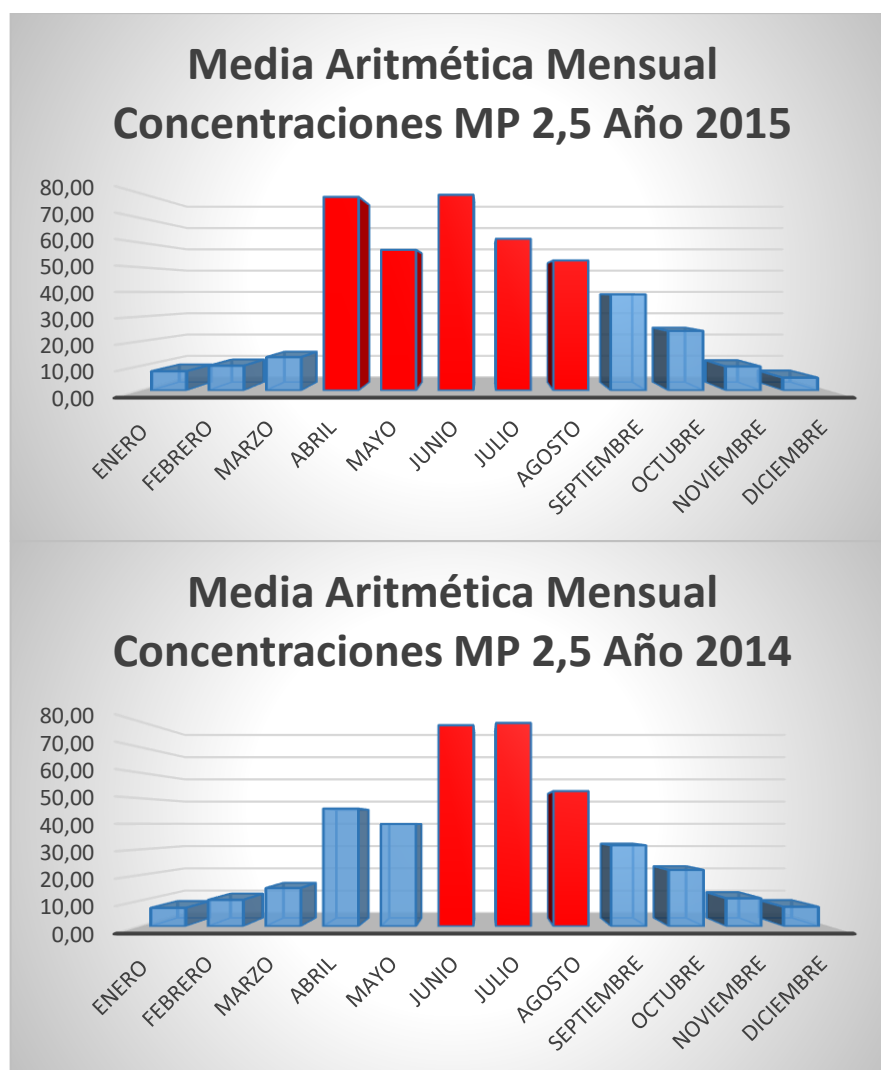


Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA (2017).

De los datos expuestos, existen 68 días en que la norma diaria de concentración de material particulado fino ha sido excedida durante el 2014 y 69 días en el transcurso del año siguiente.

Haciendo un análisis mensual, es posible determinar que existe una marcada estacionalidad del peak de contaminantes en la atmósfera, siendo los meses de otoño e invierno los más contaminados, tal como se aprecia en las siguientes imágenes:

Gráfico 3 y 4: Concentraciones Promedio Mensual de MP_{2,5} en Osorno periodo 2014-2015



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA (2017).

Ahora bien, si se analiza la media aritmética anual de las concentraciones del contaminante, éstas de igual forma sobrepasan la normativa de 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], alcanzando un promedio para el año 2014 y 2015, de 34,64 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y 35,27 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], respectivamente.

Lo anterior se presenta con el objetivo de justificar tanto, la implementación de un Plan de Descontaminación Atmosférica, como la realización de la presente evaluación, dado los altos niveles actuales de contaminantes presentes en la Comuna.

Para un mayor entendimiento del lector y para adentrarse más en la materia que concierne, a continuación, se presenta una descripción de los principales contaminantes y fuentes emisoras, con las respectivas características a cada uno de ellos.

3.4 Emisión de Contaminantes

Las principales fuentes emisoras de contaminantes, pueden ser clasificadas de acuerdo a sus características en Fuentes Fijas, Móviles y Fugitivas.

Las Fuentes Fijas consideran todas aquellas emisiones generadas de la quema de combustibles, provenientes principalmente de las actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor, vapor, calefacción, fundición de minerales u otros procesos.

Las Fuentes Móviles corresponden a las emisiones provenientes del parque automotriz, camiones, buses y el transporte en general, por medio de la emanación de gases de escape o desgaste de frenos y neumáticos.

Las Fuentes Fugitivas, consisten en emisiones de partículas que provienen de dos orígenes distintos, la artificial; de calles pavimentadas y sin pavimentar, de demoliciones y

construcciones, y la de origen natural; suspensión de la tierra o erosión de rocas por efectos climáticos.

En relación a los contaminantes en sí, las concentraciones de material particulado ($MP_{2,5}$, MP_{10}), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) provienen principalmente de emisiones directas a la atmósfera, ya sea de origen antropogénico o de forma natural. Por su parte, el Ozono (O_3) es formado por la acción de la radiación solar, mediante reacciones químicas entre diversos compuestos orgánicos volátiles (COV).

Adicionalmente, es posible la formación de material particulado conocido como $MP_{2,5}$ secundario, el cual es considerado como el más nocivo de los contaminantes, éste se forma por medio de reacciones químicas entre contaminantes gaseosos como el óxido de azufre (SO_x) y el óxido de nitrógeno (NO_x). Éstos últimos se denominan como precursores de material particulado. (Jorquera, 2007).

Ahora bien, por su parte cada fuente emisora genera más de un contaminante a la atmósfera, los cuales a su vez provienen de diversas actividades. Para un mejor entendimiento, la Tabla 1 resume dicha información.

Tabla 1: Clasificación de fuentes emisoras, por tipo de contaminante y actividades asociadas.

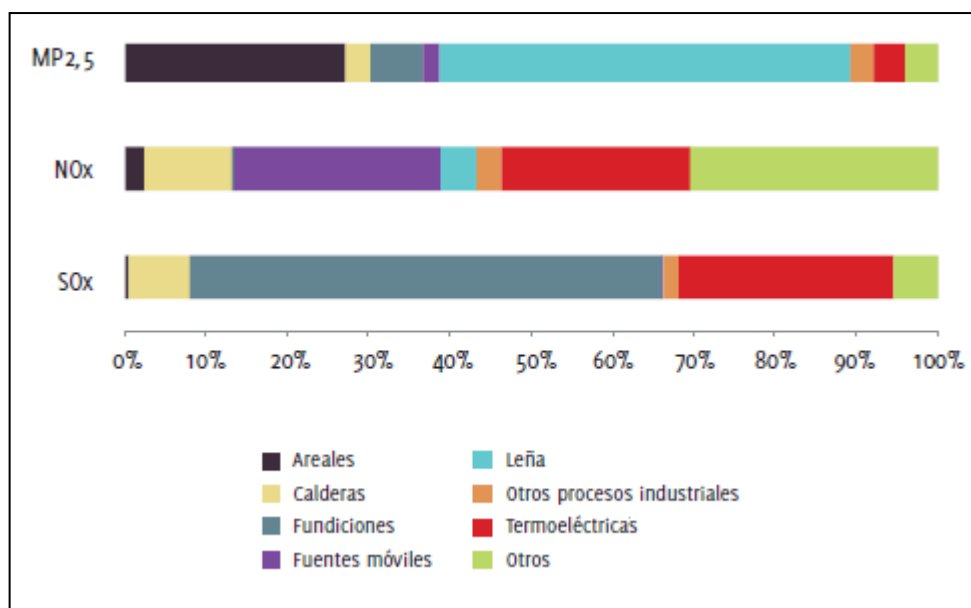
Tipo	Contaminante	Subtipo	Ejemplo de Actividades
Fuentes Fijas	MP ₁₀ , MP _{2,5} , SO _x , NO _x	No Puntuales (Areales)	Calefacción residencial, quemas agrícolas, incendios forestales.
		Puntuales (Industrias)	Generación eléctrica, calderas de vapor, hornos industriales, fundición de cobre.
Fuentes Fugitivas	MP ₁₀ , MP _{2,5}	Polvo en suspensión	Construcción de edificios, calles con y sin pavimento, erosión eólica.
Fuentes Móviles	MP ₁₀ , MP _{2,5} , NO _x , COV, SO _x	En Ruta	Buses, camiones, vehículos particulares y comerciales, motos.
		Fuera de Ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operaciones en puertos y aeropuertos.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio del Medio Ambiente (2011).

Determinar la distribución y contribución de contaminantes por cada tipo de fuentes emisoras y actividades asociadas es un tema bastante complejo, puesto que cada ciudad presenta características distintas en cuanto a densidad poblacional, condiciones climáticas, cantidad de industrias, número de vehículos, entre otras variables, lo cual dificulta el análisis, en términos de poder identificar a cada fuente y/o actividad una determinada cuantía de emisión de contaminantes. De acuerdo al reporte del Ministerio del Medio Ambiente (2011), en nuestro país son pocas las regiones que cuentan con un inventario de emisiones con un nivel de detalle adecuado, y corresponden generalmente, a ciudades con un gran número de habitantes o con presencia de mega fuentes industriales.

No obstante, es posible presentar un diagnóstico general a nivel nacional, en base a la información recopilada por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

Figura 6: Distribución de contaminantes más nocivos por tipo de fuentes a nivel nacional



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2011) en base a RECT.

De la gráfica se aprecia que las principales fuentes emisoras a nivel nacional corresponden a calefacción residencial a leña para MP_{2,5}, fundiciones de cobre para SO_x y centrales termoeléctricas para NO_x. Se destaca la importante contribución de fuentes areales a las emisiones de particulado fino respirable MP_{2,5}. Dichas fuentes, corresponden a aquellas emisiones que son atribuidas a fuentes fijas, pero que son demasiado dispersas, como para ser registradas de forma individual en el inventario de emisiones. Dentro de esta clasificación se encuentran por ejemplo las emisiones provenientes de quemas e incendios agrícolas, entre otras.

3.5 Gestión de Episodios Críticos

De acuerdo a los niveles de concentración de contaminantes, el Ministerio de Salud en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente, pueden decretar uno de las 6 situaciones o estados ambientales, bajo los cuales se aplican las medidas establecidas en Plan de Alertas Ambientales y Sanitarias (Ministerio del Medio Ambiente, 2014). A continuación, se presentan dichos estados junto a sus respectivos niveles de contaminantes y recomendaciones realizadas por las autoridades competentes en la materia.

Tabla 2: Estados Ambientales de acuerdo a los niveles de concentración de MP_{2,5} en la atmósfera.

Estado Ambiental	Concentraciones MP _{2,5} µG/M ³	Recomendaciones
Bueno	0-50	Realizar actividades de forma normal.
Regular	50-80	Niños y 3° edad deben evitar ejercicios prolongados
Alerta	80-110	Población en general debería evitar ejercicios prolongados
Pre-emergencia	110-170	Niños y 3° edad, además de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares deberían evitar toda actividad al aire libre. Población general debería evitar ejercicio prolongado.
Emergencia	170-250	Aumento significativo de mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares. Niños y 3° edad, además de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares deberían evitar toda actividad al aire libre. Población general debería evitar ejercicio prolongado.
Emergencia Sanitaria	250- o más	Riesgo serio de aumento de enfermedades respiratorias en la población general. Población debería evitar todo ejercicio al aire libre. Personas con enfermedades respiratorias, cardiovasculares, niños y la 3° edad debería permanecer dentro del hogar.

Fuente: Elaboración propia con datos de Ministerio del Medio Ambiente (2011).

Como se aprecia en la Tabla 3 y como se ha expresado con anterioridad, la contaminación atmosférica puede generar una serie de complicaciones en la salud de las

personas, sin embargo, existen diversas externalidades negativas provocadas por la emisión de contaminantes, las cuales se exponen y desarrollan en el capítulo siguiente.

3.6 Impactos de la Contaminación Atmosférica

Los efectos más perjudiciales de la contaminación atmosférica son los provocados en la salud de la población, siendo en particular, el MP_{10} y el $MP_{2,5}$ los contaminantes más nocivos, seguidos por el ozono (O_3). No obstante, la contaminación del aire produce una serie de externalidades negativas en otros ámbitos de la sociedad, los cuales se detallarán a continuación.

3.6.1 Efectos sobre la Salud

De acuerdo a la OMS (2005), el 92% de la población mundial vive en lugares donde los niveles de calidad del aire exceden los límites fijados por dicha organización y, además, señala que unos 3 millones de muertes al año están relacionadas con la exposición a contaminantes ambientales provenientes de fuentes externas.

El impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población puede ser a nivel de morbilidad o mortalidad y, a su vez, a corto o largo plazo.

De acuerdo a la literatura disponible, a corto plazo el $MP_{2,5}$ puede causar enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, enfermedades cardiovasculares, incrementos de la incidencia de infecciones, cáncer respiratorio, inflamación pulmonar y sistémica, exacerbación de los síntomas e incremento del asma, aumento de infartos al miocardio, disfunciones endoteliales y vasculares y desarrollo de aterosclerosis. (Cifuentes, 2010).

Asimismo, existe suficiente evidencia para concluir una asociación causal entre $MP_{2,5}$ y mortalidad a corto plazo. (GreenLabUC, 2011).

A largo plazo, estudios concluyen que existe una relación causal entre $MP_{2,5}$ y morbilidad cardiovascular. Además, concluyen que existe una asociación probablemente causal entre $MP_{2,5}$ y efectos respiratorios, como disminución en el crecimiento de la función pulmonar, aumento en los síntomas respiratorios y desarrollo de asma. Por último, la declaración de la EPA (2009) sugiere una relación entre la exposición a $MP_{2,5}$ y cáncer, mutagenicidad y genotoxicidad (GreenLabUC, 2011).

3.6.2 Daño a Materiales

La contaminación atmosférica impacta negativamente sobre los materiales que se encuentran expuestos a ella, afectando sus propiedades químicas y/o físicas. Así, se estima que la reducción de los niveles de concentración de tanto el material particulado como de los gases óxido de azufre (SO_x) y óxido de nitrógeno (NO_x) traerán importantes ahorros en términos de mantención, especialmente en relación a los daños provenientes de cambios a las propiedades físicas y químicas de las estructuras y superficies de los bienes urbanos, tales como casas, edificios, señaléticas, automóviles, entre otros. (O'Ryan & Larraguibel, 2000).

3.6.3 Efectos sobre la Visibilidad

El efecto en la visibilidad es claramente notorio cuando existen periodos de elevados niveles de contaminantes en el ambiente. Es lo que se denomina Smog Contaminante, niebla que disminuye la visibilidad, lo cual se traduce en un menor bienestar y calidad de vida para la ciudadanía en general, ya que no sólo puede provocar accidentes automovilísticos, sino que también, perjudica el área del turismo, debido a la pérdida del valor escénico de los entornos naturales de nuestro país.

3.6.4 Impactos en la Flora y Fauna

De acuerdo a la literatura, tanto el ozono (O_3) como el dióxido de azufre (SO_2) inciden negativamente en el crecimiento de la vegetación. Por lo cual, plantas y/o árboles pueden ver afectadas sus estructuras, por la deposición ácida en los suelos provenientes de altas concentraciones de contaminantes. (O'Ryan & Larraguibel, 2000).

Del mismo modo, elevados niveles de dióxido de nitrógeno (NO_2) puede producir alteraciones en la acidez del agua, modificando su composición y dificultando la supervivencia de especies marinas. (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

3.7 Planes de Descontaminación Atmosférica

Se entiende por Plan de Descontaminación Atmosférica al "instrumento de gestión ambiental, que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada por uno o más contaminantes". (Ley N°19.300, 1994).

En el caso de Chile, la Norma Primaria de Calidad del Aire es el documento que establece los valores de concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de contaminantes. A la fecha, la norma establece como contaminantes siete sustancias: Material Particulado Respirable (MP_{10}), Plomo (Pb), Ozono (O_3), Dióxido de Azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Monóxido de Carbono (CO) y Material Particulado Fino Respirable ($MP_{2,5}$). En la Tabla 3, se encuentran descritas algunas de las normas primarias de calidad del aire.

Tabla 3: Normas Primarias de Calidad del Aire Vigentes en Chile.

Contaminante	Nivel Máximo $\mu\text{G}/\text{M}^3$	Métrica	Excedencia
O_3	120	Promedio Móvil de 8 horas	Percentil 99
MP_{10}	50	Media aritmética anual	No se permite
	150	Media aritmética diaria	Percentil 98
$\text{MP}_{2,5}$	20	Media aritmética anual	No se permite
	50	Media aritmética diaria	Percentil 98
SO_2	80	Media aritmética anual	No se permite
	250	Media aritmética diaria	Percentil 99
NO_2	100	Media aritmética anual	No se permite
	400	Media aritmética horaria	Percentil 99

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2011).

Se define zona saturada como "aquella zona en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas." (Ley N°19.300, 1994). Asimismo, se considera “zona latente” aquella en que la concentración se encuentre entre el 80% y el 100% de las concentraciones límite.

Para evaluar el estado de la calidad del aire, en relación con los estándares establecidos en las normas primarias de calidad ambiental, se analizan los registros de las Estaciones de Monitoreo con Representatividad Poblacional (EMRP). En el país, además, existen estaciones de monitoreo privadas, la mayor parte de las cuales han sido instaladas en el marco de las exigencias establecidas en resoluciones de calificación ambiental, como mecanismo de seguimiento de los impactos de los proyectos o de planes de descontaminación.

La mayor parte del monitoreo de calidad del aire que se realiza a lo largo de Chile se ha orientado preferentemente al material particulado MP_{10} , sin embargo, con la entrada en vigencia de la norma de $MP_{2,5}$ se espera aumentar la cobertura de monitoreo de este contaminante en los próximos años, lo cual permitirá contar con un mejor indicador del estado de la calidad del aire. (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

Es importante señalar que los Planes de Descontaminación sólo se desarrollan e implementan en las zonas declaradas como saturadas por algún tipo de contaminante presente en la atmósfera.

3.7.1 Plan de Descontaminación Atmosférica Osorno, PDAO

De acuerdo a los antecedentes y datos recopilados en la Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional El Alba, ubicada en la Comuna de Osorno, existen evidencias acerca del incumplimiento de las Normas Primarias de Calidad del Aire, en las cuales se constata la superación de dichas normas en las mediciones realizadas, por lo cual se procedió a declarar zona saturada por MP_{10} y $MP_{2,5}$ como concentración diaria y anual la Comuna de Osorno. (D.S. N°27 del Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

Posteriormente, con fecha 27 de mayo del 2013, se dio inicio al proceso de elaboración del Anteproyecto del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno, el cual se aprobó en noviembre del 2014, lográndose la implementación de éste a comienzos del 2016.

A continuación, se abordarán en profundidad cada uno de los ejes estratégicos del PDAO y el cómo influirán en el desarrollo de la presente investigación.

3.7.1.1 Mejoramiento de la Calidad de la Leña

En relación a la calidad de la leña consumida en Osorno, el Plan presenta recomendaciones acerca de preferir leña seca y certificada, sugiriendo el resguardo de ésta en trozos que no excedan los 16 cm de ancho, siendo a su vez puesta en lugares techados y con ventilación.

Cabe señalar que actualmente, el PDAO sólo sugiere acciones enfocadas en el cambio de comportamiento de compra y resguardo de la leña por parte de la población. No obstante, para efectos de esta investigación, se contemplará la implementación de una medida concreta como es la entrega de subsidios para la compra de leña seca.

En cuanto a la entrega de dicho subsidio, éste se aplicará bajo las mismas condiciones que las medidas que el PDAO actualmente se encuentra ejecutando. Sin embargo, se realizará una modificación respecto al costo de implementación, donde se considerará que el subsidio sea completo, es decir, no existirá un copago por parte de los beneficiados.

3.7.1.2 Mejoramiento de la Eficiencia de Artefactos de Combustión Residencial

El enfoque de este eje estratégico se centra en el recambio de calefactores antiguos y poco eficientes, por artefactos de combustión a leña con mayores eficiencias y menores índices de emisión de contaminantes. Para plasmar lo anterior, el PDAO ofrece distintas opciones de artefactos para el recambio, dentro de los cuales se destacan calefactores a pellet, estufas a leña tipo Bosca (cumplen con la nueva norma de emisión) y artefactos a parafina. Éstos últimos, no serán considerados como opción dentro de la presente investigación, debido a la utilización de un combustible distinto al evaluado dentro de las demás alternativas.

Actualmente, para optar al recambio, las personas deben inscribirse y postular a los llamados realizados por el Ministerio del Medio Ambiente, quienes, en primera instancia,

verifican el cumplimiento de requisitos socioeconómicos de los postulantes, para luego asignar el beneficio del subsidio a las personas correspondientes, las cuales deben entregar su calefactor antiguo, pudiendo elegir un nuevo artefacto, dentro de las opciones anteriormente mencionadas, de acuerdo a sus preferencias y disposiciones de pago.

Cabe mencionar, que esta medida contempla un copago por parte de los beneficiados, quienes deben asumir una parte del costo del recambio, monto que varía en función del artefacto seleccionado.

3.7.1.3 Mejoramiento Térmico de las Viviendas

El Plan contempla dentro de sus medidas, el reacondicionamiento térmico de las viviendas, el cual busca, por medio de una mayor aislación, evitar pérdidas y fugas de calor en los hogares de la comuna, aumentando la eficiencia de la combustión residencial.

Para esto, actualmente existen 2 tipos de reacondicionamiento al cual los osorninos pueden optar, previa postulación y cumplimiento de requisitos socioeconómicos. El primero de ellos, consiste en mejorar el complejo de techumbre y muros; el segundo contempla el reacondicionamiento de pisos y ventanas. Para efectos de esta investigación, se asumirá por simplicidad que los beneficiarios optarán por ambos tipos de mejoras en sus hogares, permitiendo de este modo una aislación térmica completa de la vivienda.

Del mismo modo, que el caso anterior, esta medida contempla el copago de los beneficiados, quienes asumirán una proporción mínima del costo de implementación. Es relevante señalar que dicho copago, asciende al mismo monto para cada tipo de reacondicionamiento.

3.7.1.4 Educación y Sensibilización de la Comunidad

Para que la implementación del Plan de Descontaminación Atmosférica genere reales impactos, es necesario concientizar a la población acerca de los perjuicios asociados a la contaminación ambiental, cómo nuestras acciones aportan en el deterioro del Medio Ambiente y qué medidas podemos adoptar como comunidad, para generar cambios favorables en la calidad del aire en nuestra comuna, ya que, de lo contrario, ninguna inversión y/o esfuerzo gubernamental tendrá resultado. Para ello el PDAO contempla las siguientes medidas:

- ✓ Alianza con 71 establecimientos educacionales de Osorno.
- ✓ Alianza con la comunidad, por medio de juntas vecinales y organizaciones sociales.
- ✓ Entrega y difusión de material educativo, de manera transversal.
- ✓ Sensibilización, enfocado a niños, como agentes portadores de mensajes a sus familias.

Si bien, la importancia de este eje es vital en la implementación del Plan de Descontaminación, para efectos de la presente investigación, no será abordado, debido a la complejidad de la medición de sus parámetros. En consecuencia, se utilizará el supuesto de la racionalidad de los individuos.

4 ALCANCES

4.1 Alternativas para la Evaluación

En el presente estudio, se evaluarán las siguientes alternativas:

- ✓ Subsidio a la Compra de Leña Seca.
- ✓ Subsidio al Recambio de Calefactores.
- ✓ Subsidio al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

En cuanto a las opciones de artefacto dentro del recambio de calefactores, se considerarán aquellos definidos en el Plan de Descontaminación Atmosférica para Osorno, PDAO que utilicen como combustible la leña, es decir, calefactores a leña eficientes y calefactores a pellet.

Del mismo modo, para el caso del reacondicionamiento térmico de las viviendas, las especificaciones en cuanto a complejos de techumbre, pisos, muros y ventanas, serán aquellos establecidos en el Plan anteriormente mencionado.

4.2 Contaminantes

El contaminante objeto del estudio corresponde al Material Particulado Fino Respirable, MP_{2,5}. Dicha elección, se sostiene en el hecho de que este contaminante es más dañino que el MP₁₀, debido a su menor diámetro, el cual le adjudica un mayor poder de penetración en el sistema respiratorio, atacando directamente los alveolos pulmonares, generando mayores complicaciones en la salud de la población expuesta.

4.3 Horizonte del Estudio

Para realizar la evaluación económica de las alternativas de subsidios, se considerará un horizonte de valoración de 10 años, decisión que se basa principalmente en la extensión temporal promedio de un Plan de Descontaminación Atmosférica.

Respecto al año base para la evaluación, éste corresponde al 2015, puesto que, en dicho año, aún no se encontraban implementadas las medidas de mitigación del contaminante en estudio, por lo cual, las emisiones y concentraciones de $MP_{2,5}$ reflejan el escenario real de la Comuna de Osorno.

Cabe destacar que, si bien desde el año 2008 existen registros de mediciones de $MP_{2,5}$ ¹, éstos cuentan con una gran cantidad de datos no validados, así como también, ausencia de datos, por ende, no serán considerados en la presente evaluación.

4.4 Consideraciones en Efectos

Como anteriormente se mencionó, los efectos provocados por la exposición a $MP_{2,5}$ son variados, no obstante, por simplicidad del estudio, sólo será considerado el impacto de dicho contaminante, en la salud de la población expuesta en el corto plazo, vale decir, se considerará la mortalidad prematura², las admisiones hospitalarias y las restricciones de actividad, derivadas del daño producido por el contaminante en estudio.

¹ Ver Anexo 10.1.

² Se entiende por mortalidad prematura como el fallecimiento de una persona, debido a causas evitables, previo a su esperanza de vida.

4.5 Consideraciones en Mejoras

La evaluación contemplará el logro de cumplir con la reglamentación vigente, es decir, cumplir con la norma primaria de calidad del aire, lo cual implica que la zona considerada saturada debe lograr una concentración de $MP_{2,5}$ de media aritmética anual de $20 \text{ } [\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

5 METODOLOGÍA

La evaluación económica de las alternativas se llevará a cabo por medio de la utilización de la metodología de Análisis de Costos y Beneficios generados por la implementación de las medidas y acciones enmarcadas en cada opción a evaluar. Para ello, se determinará el costo económico de realizar las acciones necesarias para plasmar la iniciativa a ejecutar, el cual se contrastará con la valoración de los beneficios asociados a la disminución de emisiones de MP_{2,5} sobre los efectos provocados en la salud de la población de la Comuna de Osorno.

5.1 Recopilación y Análisis de Datos de Estudios relevantes

El proceso de la recopilación de datos y de los análisis correspondientes, tienen por objeto, identificar posibles fuentes de información pertinente, que sirvan como base argumentativa del estudio en cuestión, pudiendo a la vez, extraer metodologías utilizadas en estudios similares, como referencias, adaptadas a las situaciones específicas planteadas en esta evaluación.

Dentro de las principales fuentes informativas se encuentra el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, SINCA, del cual se extraen los inventarios de concentraciones de contaminantes; Instituto Nacional de Estadísticas, INE, quienes proporcionan los datos poblacionales y el catastro de hogares en la comuna seleccionada; Ministerio del Medio Ambiente, MMA, a través del Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Osorno, PDAO, se obtienen las especificidades del recambio de calefactores y del reacondicionamiento de las viviendas; entre otras.

5.2 Estimación de la Concentración de MP_{2,5} Reducida

El cálculo de la reducción en la concentración de MP_{2,5} será estimado tanto, para el escenario base, como para cada una de las alternativas a evaluar.

Independiente del escenario considerado, las concentraciones de MP_{2,5} se calcularán en función de la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Concentración Anual de MP_{2,5}

$$C^t \left(\mu g / m^3 \right) = \frac{E^t (ton)}{FEC \left(\frac{ton}{\mu g / m^3} \right)}$$

Donde:

$C^t \left(\mu g / m^3 \right)$: Concentración anual de MP_{2,5}, en el año t.

$E^t (ton)$: Emisiones anuales de MP_{2,5}, en el año t.

$FEC \left(\frac{ton}{\mu g / m^3} \right)$: Factor Emisión-Concentración.

En relación al Factor de Emisión-Concentración, FEC, éste corresponde a la cantidad de emisiones necesarias para subir en una unidad la concentración del contaminante en un lugar determinado, y depende principalmente de las condiciones de ventilación propias de la ciudad en estudio.

Para realizar la estimación del FEC, se considerará el Método Aproximado, el cual consiste en dividir las emisiones del contaminante por la concentración de éste para el mismo

año. Dado que sólo se utilizarán los datos validados de la concentración de MP_{2,5} para el año 2015³, el FEC obtenido se considerará una constante dentro de las evaluaciones a realizar.

Tabla 4: Emisión, Concentración y FEC en Osorno Año 2015.

EMISIONES TOTALES MP _{2,5} Año 2015 [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} Año 2015 [µg/m ³]	FEC CONSTANTE [TON/(µg/m ³)]
25.105	35,27	711,84

Fuente: Elaboración Propia en base a datos del SINCA (2015).

5.2.1 Escenario Base: Sin Implementación de Medidas

Las emisiones del contaminante se determinarán por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Emisiones Anuales de MP_{2,5}

$$E^t(ton) = \frac{\sum_i (FE_i * NA_i)}{1000}$$

Donde:

$E^t(ton)$: Emisiones de MP_{2,5} correspondiente a combustión residencial en el año t.

FE_i : Factor de Emisión de MP_{2,5} para el artefacto tipo i [gr/kg].

NA_i : Nivel de Actividad, definido como el consumo anual de combustible asociado al artefacto i [kg/año].

1000 : Factor de conversión de kg a ton.

³ Ver Anexo 10.2.

Las emisiones totales de $MP_{2,5}$ se calculan considerando las emisiones provenientes de la combustión residencial de leña y las provenientes de otras fuentes, tales como quemas agrícolas, industrias, transporte, entre otras. Para el cálculo del aporte de otras fuentes, se consulta el reporte correspondiente al año 2015 de las emisiones de otras fuentes (RETC, 2017) y se proyecta en base a la variación promedio del crecimiento económico regional obtenido desde el 2014 a la fecha (INACER, 2017)⁴.

Respecto a los Factores de Emisión (FE), éstos corresponden a promedios estadísticos del flujo de contaminante emitidos por unidad de combustible procesado. Debido a la dificultad y la alta variabilidad en las emisiones de un mismo artefacto para pequeñas variaciones en las condiciones de operación de éste, los FE son obtenidos en forma experimental bajo condiciones normadas por la legislación vigente establecida en la Resolución Exenta N° 1.349 del Ministerio de Salud.

A continuación, se presentan los FE establecidos por MMA, para cada uno de los artefactos considerados en la evaluación:

⁴ Ver Anexo 10.3.

Tabla 5: Factores de Emisión MP_{2,5} para cada tipo de artefacto.

FE [gr/Kg]	Humedad Leña		Mala Operación (Tiraje cerrado)
	Seca	Húmeda	
	0-20%	21% o más	
Cocina a Leña	18,6	58,85	0
Calefactor sin Templador	14,9	47,0	73,9
Calefactor con Templador	8,1	25,65	73,9
Salamandra	16,1	50,9	0
Chimenea	15,5	26,0	0
Braseros/Otros	13,3	21,0	0
Leña MMA	1,25	2,0	70,8

Fuente: Elaboración Propia en base a Ministerio del Medio Ambiente (2017).

En relación al Nivel de actividad se considerarán distintas variables, las cuales se detallan a continuación:

5.2.1.1 Parque de Viviendas

En primera instancia, fue necesario el cálculo y estimación del número de viviendas en la Comuna de Osorno, para lo cual se utilizaron datos del INE (2002) proyectando el crecimiento del parque en función de la tasa estimada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU (2008). Se excluyeron los departamentos, viviendas móviles y de viajeros, debido a que en general no utilizan artefactos de combustión a leña⁵.

Es importante señalar que no se utilizó el número de hogares, debido a que una vivienda puede estar habitada por más de un hogar, no obstante, dichos hogares comparten el uso de los mismos artefactos a combustión.

⁵ Ver Anexo 10.4.

Ahora bien, teniendo en cuenta el número de viviendas por año de la evaluación, se seleccionaron sólo aquellas casas que utilizaran como combustible leña, correspondiente al 94,7% del total de viviendas de la comuna (UCT, 2013).

Posteriormente, se segmentó el número de viviendas que consumen leña, por nivel socioeconómico y de acuerdo a si cumplen o no con la reglamentación térmica vigente (RT)⁶, la cual establece exigencias mínimas para los techumbre, muros, pisos y ventanas, lo que permite una mayor aislación, disminuyendo el consumo de combustible. Por simplicidad del estudio, se asume que al 2015, la totalidad de viviendas de la comuna no cumple con las exigencias mínimas propuestas por el MINVU. Sin embargo, aquellas viviendas nuevas que se adquieran a partir de dicha fecha, si contemplarán el cumplimiento de la norma.

De esta forma, el parque de viviendas en Osorno y su evolución, se muestra a continuación:

Tabla 6: Evolución del Parque de Viviendas en Osorno.

Año	N° Viviendas Total	N° Viviendas Consumen Leña	Viviendas sin RT	Viviendas Nuevas con RT	Distribución Parque Viviendas Antiguo	Distribución Parque Viviendas Nuevo
2015	49.169	46.563	46.563	-	100%	0%
2016	50.074	47.420	46.563	857	98%	2%
2017	50.995	48.292	46.563	1.729	96%	4%
2018	51.934	49.181	46.563	2.618	95%	5%
2019	52.889	50.086	46.563	3.523	93%	7%
2020	53.862	51.008	46.563	4.444	91%	9%
2021	54.853	51.946	46.563	5.383	90%	10%
2022	55.863	52.902	46.563	6.339	88%	12%
2023	56.890	53.875	46.563	7.312	86%	14%
2024	57.937	54.867	46.563	8.303	85%	15%
2025	59.003	55.876	46.563	9.313	83%	17%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos INE (2002), MINVU (2008), UCT (2013).

⁶ Ver Anexo 10.5.

5.2.1.2 Parque de Artefactos

Para determinar el número de artefactos existentes en la Comuna de Osorno, se utilizó el porcentaje de viviendas que consumen leña como combustible en función del número de artefactos presentes en cada vivienda, obteniendo de este modo el total de artefactos.

Posteriormente, se procedió a distribuir el total de artefactos en calefactores antiguos⁷, nuevos y recambiados por cumplimiento de su vida útil⁸. Para ello y por simplicidad del estudio, se asumió que al 2015 la totalidad del parque corresponde a artefactos antiguos. Sin embargo, aquellos artefactos que se adquirieran a partir de dicha fecha, tanto por recambio, como por nueva vivienda, corresponderán a artefactos de leña eficiente⁹. En relación al recambio de artefactos por cumplimiento de su vida útil, de acuerdo al estudio de la UCT (2013), en promedio, el 21% de los artefactos existentes en el 2015¹⁰, poseen más de 20 años de antigüedad, por lo cual deben ser recambiados.

De este modo, el parque de artefactos y su evolución se presentan a continuación:

⁷ Se entiende por artefacto antiguo, aquel calefactor que no cumple con la norma vigente de emisión de contaminantes, independiente del tipo y/o clasificación de éste.

⁸ Se consideró que los artefactos, independiente de su tipo y/o clasificación, poseen una vida útil de 20 años.

⁹ Se entiende por leña eficiente, como aquel artefacto que cumple con la norma vigente de emisión de contaminantes.

¹⁰ Ver Anexo 10.6.

Tabla 7: Evolución del Parque de Artefactos en Osorno.

N° Viviendas con # Artefactos			TOTAL Artefactos	Artefactos Antiguos	Nuevos Artefactos	Recambio por Antigüedad	Distribución Parque Artefactos Antiguo	Distribución Parque Artefactos Nuevo
1	2	3						
30.126	15.971	466	63.466	63.466	-	-	100%	0%
30.681	16.265	474	64.633	62.133	1.168	1.333	96%	4%
31.245	16.564	483	65.823	60.800	2.357	2.666	92%	8%
31.820	16.869	492	67.034	59.467	3.568	3.998	89%	11%
32.406	17.179	501	68.267	58.134	4.802	5.331	85%	15%
33.002	17.496	510	69.523	56.802	6.058	6.664	82%	18%
33.609	17.818	519	70.803	55.469	7.337	7.997	78%	22%
34.228	18.145	529	72.105	54.136	8.640	9.329	75%	25%
34.857	18.479	539	73.432	52.803	9.966	10.662	72%	28%
35.499	18.819	549	74.783	51.471	11.318	11.995	69%	31%
36.152	19.166	559	76.159	50.138	12.694	13.328	66%	34%

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

Ahora bien, es necesario redistribuir el total de artefactos antiguos, de acuerdo a la composición por tipo de calefactor, para de este modo poder aplicar los FE correspondientes. Dicha composición se muestra a continuación:

Tabla 8: Composición del Parque de Artefactos Antiguos en Osorno.

Composición del Parque Artefactos Antiguo	
Cocina Leña	50,30%
Calefactor sin Templador	10,60%
Calefactor con Templador	30,70%
Salamandra	3,70%
Chimeneas	1,90%
Braseros/Otros	2,80%

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

Finalmente, se asigna la cantidad de artefactos existentes por cada tipo de calefactor, de acuerdo a la presencia de éstos en cada vivienda, dónde se tienen viviendas con y sin RT. Para

dicha asignación, se considera que el parque de artefactos antiguos está presente en su totalidad en viviendas sin RT, los nuevos artefactos se encuentran en viviendas con RT y los artefactos recambiados se distribuyen en viviendas sin RT¹¹. Cabe destacar que, a su vez, dichas clasificaciones se distribuyen por Nivel Socioeconómico Alto, Medio y Bajo, con el fin de luego poder asignar los subsidios correspondientes.

Respecto a la eficiencia promedio de cada parque de artefactos, ésta se calcula en base a la ponderación entre la composición por tipo de calefactor y su respectiva eficiencia. A continuación, se presentan las eficiencias de cada parque de artefactos.

Tabla 9: Eficiencia Promedio del Parque de Artefactos en Osorno.

Parque Artefactos Antiguo		
Artefacto	Uso	Eficiencia
Cocina	50,30%	35%
Calefactor sin Templador	10,60%	55%
Calefactor con Templador	30,70%	65%
Salamandra	3,70%	35%
Chimeneas	1,90%	15%
Braseros/Otros	2,80%	10%
Eficiencia Promedio Parque Artefactos Antiguo	45%	

Parque Artefactos Nuevo		
Artefacto	Uso	Eficiencia
Leña Eficiente	100%	70%
Eficiencia Promedio Parque Artefactos Nuevo	70%	

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

¹¹ Ver Anexo 10.7.

Por último, la eficiencia total del parque de artefactos, viene dada por la ponderación entre la distribución de cada tipo de parque y su respectiva eficiencia promedio. De esta manera, se obtiene la evolución de la eficiencia total del parque de artefactos.

Tabla 10: Evolución de la Eficiencia del Parque de Artefactos en Osorno.

Año	Distribución Parque Artefactos Antiguo	Distribución Parque Artefactos Nuevo	Eficiencia Total del Parque
2015	100%	0%	45%
2016	96%	4%	46%
2017	92%	8%	47%
2018	89%	11%	48%
2019	85%	15%	49%
2020	82%	18%	50%
2021	78%	22%	51%
2022	75%	25%	51%
2023	72%	28%	52%
2024	69%	31%	53%
2025	66%	34%	54%

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

5.2.1.3 Modo de Operación de los Artefactos de Combustión

Otra consideración relevante dentro de la estimación del Nivel de Actividad, se relaciona con el modo de operar los artefactos de combustión, ya que los FE tanto para calefactores con y sin templador, como aquellos de leña eficiente, emiten distintos niveles de contaminantes de acuerdo a si se utiliza el tiraje abierto, medio o cerrado. Se entenderá como mala operación del artefacto, aquellos en que se utiliza el tiraje cerrado. Por ende, se considera buena operación, el uso del tiraje medio o abierto. A continuación, se presenta el uso del tiraje de dichos artefactos, en la población de la Comuna de Osorno:

Tabla 11: Modo de Operación de los Calefactores con y sin Templador en Osorno.

Uso del Tiraje		
Mala Operación	Buena Operación	
Cerrado	A la Mitad	Abierto
59,30%	38,20%	2,50%
	40,70%	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos UCT (2013).

5.2.1.4 Características de la Leña y su Consumo

Para determinar el Nivel de Actividad, asociado al consumo de combustible al año, es necesario caracterizar la leña utilizada en la comuna de Osorno, respecto a la composición de consumo por especie, consumo de leña seca y húmeda, densidad de cada especie de acuerdo al nivel de humedad presente en la leña y al poder calorífico respectivo¹², el que también varía en función de la humedad.

Se entiende por leña seca, aquella madera que presenta hasta un 20% de humedad en su contenido. Lo que, a su vez, determina como leña húmeda aquella que presenta un nivel de humedad superior a dicho porcentaje.

Los datos de la composición de consumo de leña por especie y el consumo actual de leña seca y húmeda, viene dado por el Estudio de Consumo y Caracterización del Uso de la Leña en la Ciudad de Osorno, desarrollado por la Universidad Católica de Temuco, UCT (2013). Respecto a las densidades de las especies por nivel de humedad y el poder calorífico

¹² Ver Anexo 10.8.

inferior de éstas en base seca, los datos provienen del Ministerio de Agricultura, MINAGRI (2010) y del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI CITEMA (s.f).

Tabla 12: Composición, Densidad, Poder Calorífico y Consumo Actual de Leña en Osorno.

Especie	% USO	Densidad [Kg/m ³]		Poder Calorífico [Kcal/Kg]
		Seca	Húmeda	Leña Seca
Hualle/Roble	53,00%	447	624	4.676
Eucaliptus	21,30%	508	592	4.531
Ulmo	20,40%	507	648	5.144
Tepú	3,80%	403	428	4.658
Pino	0,90%	510	860	3.741
Canelo	0,60%	420	494	4.208
Total	100%	Densidad Promedio Leña Seca [Kg/m ³]	Densidad Promedio Leña Húmeda [Kg/m ³]	Poder Calorífico Promedio Leña Seca [Kcal/Kg]
		471	616	4.729

Consumo Actual Leña Seca	Consumo Actual Leña Húmeda
5,3%	94,7%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos UCT (2013), MINAGRI (2010), INTI CITEMA (s.f).

Por último, el poder calorífico inferior promedio de la leña húmeda se calcula en base a la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Poder Calorífico Leña Húmeda

$$PCI_{Base\ Húmeda} = PCI_{Base\ Seca} * \frac{100 - CH_{Base\ Húmeda}}{100} - (k_1 * \frac{CH_{Base\ Húmeda}}{100})$$

Donde:

$PCI_{Base\ Húmeda}$: Poder Calorífico Inferior para un determinado nivel de Humedad [Kcal/Kg].

$PCI_{Base\ Seca}$: Poder Calorífico Inferior en base seca [Kcal/Kg].

$CH_{Base\ Húmeda}$: Contenido de Humedad en base húmeda [%].

k_1 : Calor latente de evaporización del agua a 25°C (583 [Kcal/Kg]).

Con los datos anteriormente presentados y dicha ecuación, se procede al cálculo del poder calorífico de la leña húmeda, el cual se presenta a continuación:

Tabla 13: Poder Calorífico Promedio de la Leña Húmeda consumida en Osorno.

Poder Calorífico Promedio Leña Húmeda [Kcal/Kg]
3.666

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.5 Demanda de Calefacción

Dado que existen viviendas con y sin RT, y éstas a su vez, pueden contar con artefactos nuevos, recambiados o antiguos, es necesario determinar la demanda de calefacción para cada combinación.

La estimación de la demanda de calefacción viene dada por los Kg de leña consumida por el artefacto y la energía consumida por éste.

Actualmente, de acuerdo al estudio realizado por la Universidad Católica de Temuco, UCT (2013), en promedio una vivienda consume anualmente 12,7 m³ de leña.

Los Kg de leña consumida por artefacto se calculan mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Leña Consumida por Artefacto

$$LA = Leña Consumida [m^3] * DP Leña \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Donde:

LA : Leña consumida por el Artefacto de combustión [Kg/Año].

Leña Consumida: Consumo Promedio de leña por vivienda [m³].

DP Leña : Densidad Promedio de la leña consumida [Kg/m³].

Dado que para efectos de la evaluación es relevante identificar el consumo de leña de acuerdo a su nivel de humedad, los Kg de leña consumida se calculan tanto para el caso de leña seca, como para el caso de leña húmeda, para lo cual se utiliza la distribución del consumo actual de cada tipo de leña.

Por consiguiente, se procede al cálculo de la Energía consumida por artefacto, la cual viene dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 5: Energía Consumida por Artefacto

$$EA = LA \left[\frac{Kg}{Año} \right] * PCI Promedio \left[\frac{Kcal}{Kg} \right]$$

Donde:

EA : Energía consumida por el artefacto de combustión [Kcal/año].

LA : Leña consumida por el artefacto de combustión [Kg/año].

PCI Promedio : Poder calorífico promedio de la leña consumida [Kcal/Kg].

Al igual que para el cálculo de los Kg de leña consumida, es necesario considerar el poder calorífico tanto de la leña seca, como el de la leña húmeda, ya que de lo contrario la energía consumida no reflejará el consumo real, distorsionando la demanda de calefacción.

Luego, teniendo ya los datos necesarios, es posible obtener la demanda de calefacción, la cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Demanda de Calefacción por Vivienda.

$$DC_{vivienda} = EA * EP_{Parque\ Artefactos}$$

Donde:

$DC_{vivienda}$: Demanda de calefacción de una Vivienda [Kcal/Año].

EA : Energía consumida por Artefacto [Kcal/Año].

$EP_{Parque\ Artefactos}$: Eficiencia promedio del Parque de Artefactos [%].

En consecuencia y teniendo en consideración lo anteriormente especificado, es posible estimar la demanda de calefacción de cada combinación de Vivienda/Artefacto. Cabe señalar que, para las combinaciones con artefactos nuevos, los kg de leña consumida no varían a través de los años, puesto que se calculan en base a la eficiencia promedio del parque de artefactos nuevo (70%). No ocurre lo mismo, en el caso de artefactos antiguos, debido a que la eficiencia total del parque va variando conforme éste se renueve, disminuyendo anualmente el consumo promedio de leña.

Por el lado de las viviendas, de acuerdo al estudio realizado por el Ministerio del Medio Ambiente, MMA (2013), con el reacondicionamiento térmico se logra una reducción del 40% en la demanda de calefacción de una vivienda. Con dicho dato y considerando la demanda de calefacción de una vivienda sin reacondicionamiento, se realiza el procedimiento del cálculo de forma inversa, obteniendo de esta forma los m³ y kg de leña consumida por artefacto.

Tabla 14: Demanda de Calefacción en Viviendas sin Reglamentación Térmica y con Artefacto Antiguo.

Vivienda sin RT con Artefacto Antiguo				
M3 Leña Consumida	Leña Seca Consumida por Artefacto [Kg/Año]	Leña Húmeda Consumida por Artefacto [Kg/año]	Energía consumida por calefactor [Kcal/Año]	Demanda de Calefacción [Kcal/Año]
12,7	317	7.407	28.655.133	12.966.448
12,4	310	7.254	28.061.330	12.966.448
12,2	304	7.110	27.507.104	12.966.448
12,0	299	6.976	26.988.875	12.966.448
11,7	293	6.851	26.503.480	12.966.448
11,5	288	6.733	26.048.117	12.966.448
11,4	283	6.623	25.620.293	12.966.448
11,2	279	6.518	25.217.785	12.966.448
11,0	275	6.420	24.838.601	12.966.448
10,8	271	6.328	24.480.952	12.966.448
10,7	267	6.241	24.143.230	12.966.448

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

Tabla 15: Demanda de Calefacción en Viviendas sin Reglamentación Térmica y con Artefacto Nuevo.

Vivienda sin RT con Artefacto Nuevo				
M3 Leña Consumida	Leña Seca Consumida por Artefacto [Kg/Año]	Leña Húmeda Consumida por Artefacto [Kg/año]	Energía consumida por calefactor [Kcal/Año]	Demanda de Calefacción [Kcal/Año]
8,2	205	4.788	18.523.497	12.966.448

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013).

Tabla 16: Demanda de Calefacción en Viviendas con Reglamentación Térmica y con Artefacto Antiguo.

Vivienda con RT con Artefacto Nuevo				
M3 Leña Consumida	Leña Seca Consumida por Artefacto [Kg/Año]	Leña Húmeda Consumida por Artefacto [Kg/año]	Energía consumida por calefactor [Kcal/Año]	Demanda de Calefacción [Kcal/Año]
7,6	190	4.444	17.193.080	7.779.869

Fuente: Elaboración propia en base a datos UCT (2013), MMA (2013).

5.2.2 Alternativa 1: Subsidio a la Compra de Leña Seca

Con el objetivo de observar variaciones en el nivel de emisiones y concentraciones de MP_{2,5}, la Alternativa 1 contempla modificaciones respecto al consumo actual de leña seca y húmeda, ya que, a través del subsidio, se espera que vaya aumentando la proporción del consumo de leña seca, en desmedro de la leña con mayor grado de humedad, con el fin de lograr, en la medida de lo posible, la concentración objetivo de MP_{2,5} al final del periodo de evaluación en la ciudad bajo análisis.

Para ello, será necesario dejar constante las variables del Nivel de Actividad, descritas en el escenario base, las que se relacionan con el Parque de Viviendas, el Parque de Artefactos y el Modo de Operación de los Artefactos, realizando modificaciones en la distribución porcentual del consumo por tipo de leña, lo que a su vez implica variaciones en los Kg de leña consumida por artefacto¹³, dado que estas variables se relacionan de forma directa.

Para aplicar lo anterior, es necesario considerar el consumo actual por tipo de leña y la variación porcentual de dicho consumo, lo cual se determina tanto para el NSE medio, como para el bajo. A continuación, se presenta la dicha distribución:

Tabla 17: Distribución del Consumo de Leña de acuerdo a la Humedad y al Nivel Socioeconómico.

	Consumo Leña Seca	Consumo Leña Húmeda	Consumo Leña Seca	Consumo Leña Húmeda	Consumo Leña Seca	Consumo Leña Húmeda
Año	NSE ALTO		NSE MEDIO		NSE BAJO	
BASE 2015	5,30%	94,70%	5,30%	94,70%	5,30%	94,70%
2016	5,30%	94,70%	7,80%	92,20%	7,30%	92,70%
2017	5,30%	94,70%	10,30%	89,70%	9,30%	90,70%
2018	5,30%	94,70%	12,80%	87,20%	11,30%	88,70%
2019	5,30%	94,70%	15,30%	84,70%	13,30%	86,70%
2020	5,30%	94,70%	17,80%	82,20%	15,30%	84,70%
2021	5,30%	94,70%	20,30%	79,70%	17,30%	82,70%
2022	5,30%	94,70%	22,80%	77,20%	19,30%	80,70%
2023	5,30%	94,70%	25,30%	74,70%	21,30%	78,70%
2024	5,30%	94,70%	27,80%	72,20%	23,30%	76,70%
2025	5,30%	94,70%	30,30%	69,70%	25,30%	74,70%

% Variación Anual Consumo Leña Seca NSE MEDIO	% Variación Anual Consumo Leña Seca NSE BAJO
2,50%	2,00%

Fuente: Elaboración propia.

¹³ Ver Anexo 10.9.

Como se observa, será necesario pasar desde un consumo de leña seca que bordea el 5% tanto en NSE medio, como en el bajo, a un 30% y 25% respectivamente, al final de los 10 años de evaluación, dejando constante el consumo de leña en el nivel socioeconómico alto, dado que no se encuentra afecto al subsidio.

5.2.2.1 Aplicación del Subsidio

Se destaca que, la aplicación del subsidio se realizará a viviendas pertenecientes al estrato social medio y bajo, dado que éstas poseen menores ingresos, lo que condiciona el cambio de comportamiento de consumo, en función de los incentivos gubernamentales aplicados.

En este sentido, dada la metodología de cálculo de las emisiones del contaminante, dónde se aplican las variables de Nivel de Actividad sobre la cantidad de artefactos de combustión y no sobre la cantidad de viviendas (recordar que existen viviendas con 1, 2 o 3 artefactos), será necesario verificar que los artefactos sujetos al subsidio, no sobrepasen el número de viviendas que consumen leña húmeda por Nivel Socioeconómico. En función de lo anterior y por simplicidad del estudio, es posible determinar que la cantidad de artefactos subsidiados puede ser aplicada en aquellas viviendas que sólo presentan un artefacto en ellas. De esta forma, se excluyen del subsidio todas las casas que posean más de un artefacto.

Luego, para lograr la concentración objetivo de $MP_{2,5}$, será necesario aplicar el subsidio sobre el número de artefactos, lo que tiene su equivalencia en el número de viviendas subsidiadas de la siguiente forma:

Tabla 18: Distribución Anual del Subsidio de Compra de Leña Seca sobre Viviendas y Artefactos.

Año	APLICACIÓN DEL SUBSIDIO ANUAL							
	DISTRIBUCIÓN SUBSIDIO EN ARTEFACTOS				DISTRIBUCIÓN SUBSIDIO EN VIVIENDAS			
	N° ARTEFACTOS SUJETOS A SUBSIDIO		% ARTEFACTOS SUJETOS A SUBSIDIO		N° VIVIENDAS SUJETAS A SUBSIDIO		% VIVIENDAS SUJETAS A SUBSIDIO	
	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO
BASE 2015	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	862	621	2,5%	2,0%	862	621	3,7%	2,9%
2017	898	645	2,5%	2,0%	898	645	3,8%	3,0%
2018	936	668	2,5%	2,0%	936	668	3,8%	3,0%
2019	974	693	2,5%	2,0%	974	693	3,9%	3,1%
2020	1.013	718	2,5%	2,0%	1.013	718	4,0%	3,1%
2021	1.054	744	2,5%	2,0%	1.054	744	4,1%	3,2%
2022	1.096	771	2,5%	2,0%	1.096	771	4,2%	3,3%
2023	1.139	798	2,5%	2,0%	1.139	798	4,3%	3,3%
2024	1.183	826	2,5%	2,0%	1.183	826	4,4%	3,4%
2025	1.228	855	2,5%	2,0%	1.228	855	4,4%	3,4%

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que existen distintas combinaciones entre tipos de viviendas y tipos de artefactos que existen en ellas, es necesario especificar la aplicación del subsidio, ya que cada combinación Vivienda/Artefacto consume distintas cantidades de leña. A continuación, se presenta la distribución del subsidio anual en función de lo anterior:

Tabla 19: Distribución Subsidio Compra Leña Seca por combinación Vivienda/Artefacto.

DISTRIBUCIÓN DEL SUBSIDIO POR TIPO DE VIVIENDA + TIPO DE ARTEFACTO					
Viviendas sin RT y Artefacto Antiguo		Viviendas con RT y Artefacto Nuevo		Viviendas Sin RT y Artefacto Nuevo	
NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO
-	-	-	-	-	-
847	610	7	5	8	6
866	622	15	11	17	12
886	633	23	17	26	19
906	644	32	23	36	26
925	656	42	30	46	33
945	667	52	37	57	40
964	678	63	44	68	48
984	690	75	52	80	56
1.004	701	87	61	92	64
1.023	713	100	70	105	73

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Alternativa 2: Subsidio al Recambio de Calefactores

Para contrastar las diferencias de emisión del contaminante en estudio, la Alternativa 2 plantea el incentivo a que las familias de la Comuna actualicen sus artefactos de combustión por calefactores que sean más eficientes y a su vez, emitan menor cantidad de material particulado. Específicamente, el PDAO contempla el recambio de calefactores antiguos de leña, por artefactos de leña eficiente MMA o por calefactores de pellet.

Luego, para llevar a cabo la estimación de las emisiones, esta vez será necesario dejar constante las variables descritas en el escenario base, que se relacionan con el Modo de Operación de los Artefactos y las Características de la Leña y su Consumo, variando principalmente la composición, distribución y eficiencia del Parque de Artefactos, ya que se considera la incorporación de los artefactos de pellet, lo que genera una nueva combinación entre Viviendas/Artefacto, existiendo viviendas sin RT que posean artefactos de combustión a pellet, lo que lleva a la determinación de su demanda de calefacción respectiva.

En relación al artefacto recambiado de combustión a pellet, éste presenta las siguientes características, de acuerdo al estudio realizado por Omni Environmental Services, OES (2005).

Tabla 20: Combustible Consumido, Poder Calorífico y Eficiencia Artefacto a Pellet.

Pellet Consumido Por Calefactor [Kg]	Poder Calorífico Pellet [Kcal/Kg]	Eficiencia Artefacto Pellet
3.246	4.286	91,40%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de OES (2005).

En función de lo anterior, se recalcula la Eficiencia Promedio del Parque de Artefactos Nuevos, la cual se presenta a continuación:

Tabla 21: Eficiencia Promedio del Parque de Artefactos Nuevos.

Parque Artefactos Nuevo		
Artefacto	Uso	Eficiencia
Leña Eficiente	62%	70%
Pellet	38%	91,4%
Eficiencia Promedio Parque Artefactos Nuevo	78%	

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del MMA (2017), OES (2005).

Debido a la variación anterior, se presenta la nueva composición, distribución y eficiencia total del parque de artefactos:

Tabla 22: Composición, Distribución y Eficiencia Total del Parque de Artefactos.

Año	TOTAL Artefactos	Artefactos Existentes	Nuevos Artefactos	Recambio por Antigüedad	Recambio Leña	Recambio Pellet	Distribución Parque Artefactos Antiguo	Distribución Parque Artefactos Nuevo	Eficiencia Total del Parque
2015	63.466	63.466	-	-	-	-	100%	0%	45%
2016	64.633	59.281	1.168	1.333	1.772	1.079	92%	8%	48%
2017	65.823	55.096	2.357	2.666	3.545	2.159	84%	16%	51%
2018	67.034	50.912	3.568	3.998	5.317	3.238	76%	24%	53%
2019	68.267	46.727	4.802	5.331	7.090	4.318	68%	32%	56%
2020	69.523	42.543	6.058	6.664	8.862	5.397	61%	39%	58%
2021	70.803	38.358	7.337	7.997	10.634	6.476	54%	46%	60%
2022	72.105	34.174	8.640	9.329	12.407	7.556	47%	53%	63%
2023	73.432	29.989	9.966	10.662	14.179	8.635	41%	59%	65%
2024	74.783	25.804	11.318	11.995	15.952	9.715	35%	65%	67%
2025	76.159	21.620	12.694	13.328	17.724	10.794	28%	72%	69%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de estudios del UCT (2013), MMA (2017), OES (2005).

Ahora bien, dado lo anterior, es posible determinar los Kg de leña consumido y la demanda de calefacción correspondiente, para cada artefacto recambiado¹⁴:

Tabla 23: Demanda de Energía Viviendas sin Reglamentación Térmica y con Artefactos Nuevos.

Vivienda sin RT con Artefacto Nuevo LEÑA MMA				
M3 Leña Consumida	Leña Seca Consumida por Artefacto [Kg]	Leña Húmeda Consumida por Artefacto [Kg]	Energía consumida por calefactor [Kcal]	Demanda de Energía Por Calefacción [Kcal]
8,2	205	4.788	18.205.055	12.743.539

Vivienda sin RT con Artefacto Nuevo PELLET		
Pellet Consumida Por Calefactor [Kg]	Energía Consumida Por Calefactor [Kcal]	Demanda de Energía Por Calefacción [Kcal]
3.246	13.912.160	12.743.539

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de estudios, OES (2005).

5.2.3.1 Aplicación del Subsidio

Al igual que en la Alternativa 1, el subsidio pretende incentivar el recambio de calefactores en viviendas del NSE medio y bajo.

Luego, para lograr la concentración objetivo, será necesario recambiar 2.852 artefactos anualmente, los cuales se distribuyen entre leña MMA y pellet, de acuerdo a la actual preferencia de las familias que han accedido al subsidio¹⁵.

¹⁴ Si se observa, los Kg de leña consumidos y demanda de calefacción para el artefacto a Leña MMA corresponde exactamente a los mismos datos del Artefacto de Leña eficiente considerado en el escenario base para el recambio por antigüedad. Esto es debido a que son el mismo tipo de artefacto.

¹⁵ Dato proveniente de www.calefactores.mma.gob.cl

Tabla 24: Distribución Anual Subsidio Recambio de Artefactos por tipo de Artefacto.

Distribución Recambio de Artefactos			
		Leña MMA	Pellet
N°	Artefactos	1.772	1.079
	%	62%	38%
		Total	
		2.852	
		100%	

Fuente: Elaboración propia.

Estos nuevos artefactos se distribuyen en Viviendas que no poseen Reglamentación Térmica vigente, asumiendo el supuesto de que el 60% de los recambios se realizan en viviendas pertenecientes al NSE medio y el 40% restante, entre las viviendas de estrato social bajo. Dicha distribución, se presenta a continuación:

Tabla 25: Distribución Anual Subsidio por tipo de Artefacto y Nivel Socioeconómico.

Nuevos Artefactos en Viviendas sin RT			
NSE MEDIO		NSE BAJO	
N° de Artefactos		N° de Artefactos	
Leña MMA	Pellet	Leña MMA	Pellet
1.063	648	709	432
Total Recambio Anual		Total Recambio Anual	
1.711		1.141	

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Alternativa 3: Subsidio al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas

Con el objeto de observar diferencias en el grado de emisiones y concentraciones de MP2,5, es necesario dejar constantes las variables del Nivel de Actividad descritas en el

escenario base, las cuales se relacionan con el Parque de Artefactos, Modo de Operación y Características de la Leña y su Consumo, realizando modificaciones básicamente en la variable Parque de Viviendas.

Puesto que se llevará a cabo el reacondicionamiento de viviendas sin RT vigente, existirá una nueva combinación Vivienda/Artefacto, la cual corresponde a viviendas reacondicionadas con artefactos antiguos. Para ello, será necesario estimar los Kg de leña consumida y su demanda de calefacción correspondiente¹⁶.

Tabla 26: Demanda de Calefacción Viviendas con Reglamentación Térmica y Artefacto Antiguo.

Año	Vivienda con RT con Artefacto Antiguo				
	M3 Leña Consumida	Leña Seca Consumida por Artefacto [Kg]	Leña Húmeda Consumida por Artefacto [Kg]	Energía consumida por calefactor [Kcal]	Demanda de Energía Por Calefacción [Kcal]
BASE 2015	-	-	-	-	-
2016	10,2	254	5.926	22.924.107	10.373.158
2017	10,0	250	5.849	22.627.205	10.373.158
2018	9,9	247	5.777	22.350.092	10.373.158
2019	9,8	244	5.710	22.090.978	10.373.158
2020	9,7	242	5.648	21.848.280	10.373.158
2021	9,6	239	5.589	21.620.598	10.373.158
2022	9,5	237	5.533	21.406.687	10.373.158
2023	9,4	235	5.481	21.205.432	10.373.158
2024	9,3	232	5.432	21.015.840	10.373.158
2025	9,2	231	5.386	20.837.016	10.373.158

Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ Ver Anexo 10.10.

Como se observa, la cantidad de leña consumida en este tipo de viviendas varía, debido a que su cálculo depende de la Eficiencia Total del Parque de Artefactos, el cual se va renovando año a año.

5.2.4.1 Aplicación del Subsidio

Esta alternativa contempla la aplicación del reacondicionamiento térmico sobre el Parque de Viviendas Antiguo. Luego el subsidio será distribuido entre viviendas de estrato social medio y bajo, considerando a su vez, que éstas pueden contar con 1 o 2 artefactos. Dicha distribución se hará del siguiente modo:

Tabla 27: Distribución Subsidio Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas en Osorno.

Distribución Subsidio Por NSE		Distribución Subsidio Por Viviendas con #Artefactos	
NSE MEDIO	NSE BAJO	1	2
55%	45%	75%	25%

Fuente: Elaboración propia.

Se elige dicha distribución del subsidio, puesto que es la combinación que genera las menores emisiones del contaminante en estudio y, por ende, concentraciones más bajas.

Dada la metodología de estimación de emisiones, la cual se basa en calcular el aporte del contaminante sobre la cantidad de artefactos de combustión, se vuelve relevante verificar dicha aplicación sobre el número de viviendas sujetas al reacondicionamiento. De este modo, sólo es posible subsidiar a 4.011 viviendas al año, puesto que. si se excede este valor, la

medida implementada sobrepasa la cantidad de viviendas pertenecientes a cada estrato social considerado, o bien, sobrepasa la cantidad de artefactos presentes en estas viviendas.

Considerando lo anterior, se presenta la distribución acumulada del subsidio:

Tabla 28: Distribución Subsidio por Nivel Socioeconómico y Cantidad de Artefactos Afectados.

		N° Viviendas sujetas a Subsidio con #Artefactos						
		NSE MEDIO		NSE BAJO		N° Artefactos Afectados con la Medida		
Año	Viviendas Reacondicionadas	1	2	1	2	NSE MEDIO	NSE BAJO	N° Artefactos Total Afectados
2015	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	4.011	1.655	552	1.354	451	2.758	2.256	5.014
2017	8.022	3.309	1.103	2.707	902	5.515	4.512	10.028
2018	12.033	4.964	1.655	4.061	1.354	8.273	6.769	15.041
2019	16.044	6.618	2.206	5.415	1.805	11.030	9.025	20.055
2020	20.055	8.273	2.758	6.769	2.256	13.788	11.281	25.069
2021	24.066	9.927	3.309	8.122	2.707	16.545	13.537	30.083
2022	28.077	11.582	3.861	9.476	3.159	19.303	15.793	35.096
2023	32.088	13.236	4.412	10.830	3.610	22.061	18.050	40.110
2024	36.099	14.891	4.964	12.183	4.061	24.818	20.306	45.124
2025	40.110	16.545	5.515	13.537	4.512	27.576	22.562	50.138

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la cantidad de viviendas reacondicionadas es menor a la cantidad de artefactos que se ven afectados con la medida. Esto se debe básicamente a que, dentro de las viviendas subsidiadas, existen casas con 2 artefactos de combustión.

5.3 Estimación de Costos

Los costos de implementación de cada una de las alternativas, se relacionan básicamente con el hecho de aplicar los subsidios correspondientes a la población sujeta a

éstos, considerando como costo, el desembolso extra realizado por parte del Estado y la población. Para ello, se utilizan como referencias los actuales costos del PDAO y los precios de mercado asignados.

5.3.1 Alternativa 1: Subsidio a la Compra de Leña Seca

El costo asociado a la implementación de la Alternativa 1, viene dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Costo Anual Alternativa 1 Compra de Leña Seca

$$\text{Costo Anual}_{Alt\ 1} = \text{Monto Subsidio} * \text{Leña}_{vivienda} * N^{\circ} \text{Subsidios}$$

Donde:

$\text{Costo Anual}_{Alt\ 1}$: Costo anual de implementación de la Alternativa 1 [UF].

Monto Subsidio : Diferencia entre el precio promedio de un m³ de leña seca y húmeda [UF].

$\text{Leña}_{vivienda}$: Cantidad de leña consumida anualmente en una vivienda [m³].

$N^{\circ} \text{subsidios}$: Cantidad de viviendas sujetas a la aplicación del subsidio estatal.

Se destaca que, para la implementación de esta alternativa, los costos asociados se cargan en un 100% al Estado, dado que para la población no existe un costo adicional al que siempre han solventado. En otras palabras, no existe copago considerado dentro de esta medida.

Adicionalmente, es importante señalar que, dado que los subsidios se distribuyen entre viviendas con artefactos nuevos y antiguos, y a su vez, con reglamentación térmica y sin ésta, la cantidad de leña consumida variará en función de lo anterior.

Además, se asumirá el supuesto de racionalidad de los individuos, donde frente a un escenario de igualdad de precios de m³ de leña, las familias optarán por comprar y adquirir leña seca, dado los menores efectos de ésta sobre la salud de las personas.

A continuación, se presentan los precios promedios de un m³ de leña, de acuerdo a su humedad. Esta información se obtuvo por medio de conversaciones con gente de la zona:

Tabla 29: Precios de Mercado de un m³ de Leña y Monto del Subsidio.

PRECIO PROMEDIO M3 LEÑA SECA	PRECIO PROMEDIO M3 LEÑA HÚMEDA	MONTO SUBSIDIO POR M3
\$ 33.000	\$ 26.000	\$ 7.000
PRECIO PROMEDIO M3 LEÑA SECA [UF]	PRECIO PROMEDIO M3 LEÑA HÚMEDA [UF]	MONTO SUBSIDIO POR M3 [UF]
1,23	0,97	0,26

17

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Alternativa 2: Subsidio al Recambio de Calefactores

El costo asociado a la implementación de la Alternativa 2, viene dado por la siguiente ecuación:

¹⁷ Valor UF al 09 de Diciembre 2017 = \$ 26.779.-

Ecuación 8: Costo Anual Alternativa 2 Recambio de Calefactores

$$\text{Costo Anual}_{Alt\ 2} = (N^{\circ} \text{Recambios}_{Pellet} * C_{Pellet}) + (N^{\circ} \text{Recambios}_{Leña} * C_{Leña})$$

Donde:

$\text{Costo Anual}_{Alt\ 2}$: Costo anual de implementación de la Alternativa 2 [UF].

$N^{\circ} \text{Recambios}_{Pellet}$: Cantidad de Recambios de artefactos de combustión por calefactores a Pellet en el año.

C_{Pellet} : Costo Unitario de implementar el Recambio de un Calefactor a Pellet [UF].

$N^{\circ} \text{Recambios}_{Leña}$: Cantidad de Recambios de artefactos de combustión por calefactores a Leña MMA en el año.

$C_{Leña}$: Costo Unitario de implementar el Recambio de un Calefactor de Leña MMA [UF].

A continuación, se presentan los costos unitarios, asociados al recambio de calefactores y su respectivo copago, realizado por los beneficiados. Respecto a esto último, los datos se obtienen por medio de conversaciones con personas que han adquirido el subsidio y verificado, a través de conversaciones con experto de la SEREMI del MMA en Osorno¹⁸.

¹⁸ Pamela Henríquez Loaiza, Responsable a cargo de la gestión del PDAO.

Tabla 30: Costos Artefactos Recambiados y Copago Familias Beneficiadas

Costos	Leña MMA	Pellet
Inversión		
Adquisición Equipo	\$ 269.000	\$ 600.000
Kit Instalación	\$ 79.000	\$ 195.000
Instalación	\$ 60.000	\$ 60.000
Total Con IVA	\$ 408.000	\$ 855.000
Total Sin IVA	\$ 330.480	\$ 692.550
Total UF	12,34	25,86

COPAGO POBLACIÓN			
Leña MMA	Pellet	Leña MMA [UF]	Pellet [UF]
\$ 100.000	\$ 150.000	3,73	5,60

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de MMA (2013), Sodimac (2017), Experto Seremi MMA.

Como se observa, el costo asociado a la implementación, se atribuye en gran medida al Estado, no obstante, la población beneficiada con el subsidio, debe asumir un porcentaje de dicho costo, el cual corresponde al 30% en el caso de artefactos de Leña MMA y a un 22% en el caso de artefactos de combustión a pellet.

5.3.3 Alternativa 3: Subsidio al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas

El costo asociado a la implementación de la Alternativa 3, viene dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 9: Costo Anual Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas

$$Costo\ Anual_{Alt\ 3} = N^{\circ}\ Viviendas_{Reacondicionadas} * Costo_{Reacondicionar}$$

Donde:

$Costo\ Anual_{Alt\ 3}$: Costo anual de implementación de la Alternativa 3 [UF].

$N^{\circ}\ Viviendas_{Reacondicionadas}$: Cantidad de Viviendas sujetas al Reacondicionamiento.

$Costo_{Reacondinar}$: Costo Unitario de Reacondicionar una Vivienda [UF].

A continuación, se presentan los costos derivados de la Alternativa 3. Cabe destacar que, por simplicidad del estudio, se asume una vivienda tipo promedio¹⁹ para la estimación de los costos, la cual corresponde a una casa pareada de 1 piso, con 48 m² de extensión, construida con madera y tabiquería, con presencia de entretecho y marcos de madera en ventanas. Esta elección se basa en el estudio titulado “Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile, y Sistematización en la información asociada a la leña, Osorno”, desarrollado por el MMA (2013).

Los datos relacionados al copago del subsidio, realizado por la población sujeta al reacondicionamiento, se obtiene, tanto por conversaciones con gente beneficiada, como por medio de conversaciones con el experto:

Tabla 31: Características Vivienda, Costos de Reacondicionar y Copago Familias Beneficiadas

Características Vivienda Promedio			
Item	m2	Costo/m2	Costo Total
Techumbre	48	\$ 29.863	\$ 1.433.424
Pisos	48	\$ 50.484	\$ 2.423.232
Muros	48	\$ 2.645	\$ 126.960
Ventanas	2,3	\$ 125.253	\$ 288.082
Costo Unitario Reacondicionamiento Vivienda			\$ 4.271.698
Costo Unitario Reacondicionamiento Vivienda [UF]			159,52

¹⁹ Ver Anexo 10.11.

COPAGO POBLACIÓN	
Costo Vivienda Reacondicionada [\$]	Costo Vivienda Reacondicionada [UF]
\$ 350.000	13,07

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de MMA (2013), Experto Seremi MMA.

Como se observa, nuevamente el costo asociado a la implementación, se atribuye en gran medida al Estado, sin embargo, la población beneficiada con el subsidio, debe asumir un 8% del costo.

5.4 Estimación de Beneficios

Como anteriormente se ha mencionado, los efectos derivados de la exposición al contaminante MP_{2,5} son variados, por lo cual, por simplicidad de la evaluación y análisis en cuestión, sólo se considerará el impacto en la salud de la población de la comuna de Osorno²⁰, expuesta a menores concentraciones del contaminante en estudio, medido en términos de efectos evitados.

De esta forma, los beneficios anuales, independiente de la Alternativa a evaluar, se obtendrán mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10: Beneficios Económicos Sociales

$$Beneficio_{Año\ Proyectado} = \sum_i [\Delta E_i * (Población_{Año\ Proyectado}) * VS_i]$$

Donde,

²⁰ Ver Anexo 10.12.

*Beneficio*_{Año Proyectado}: Beneficio del año proyectado generado por la disminución de efectos [UF]

$\Delta E_i * (Población_{Año Proyectado})$: Cambio del número de efectos i en el año proyectado.

VS_i : Valor Social del efecto i [UF]

Adicionalmente, el cambio del número de efectos evitados, se determinará por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Variación en el Número de Efectos Evitados

$$\Delta E_{ij} = \beta_{ij} * \Delta C * (Población_j * IR_{ij})$$

Donde,

ΔE_{ij} : Cambio del Número de efectos i en la población j producto de la disminución del contaminante.

β_{ij} : Coeficiente de relación Concentración-Respuesta²¹, en métrica diaria, del efecto i en la población j.

ΔC : Cambio anual de la concentración de MP_{2,5}.

$Población_j$: Cantidad de personas del grupo etario j expuesta al contaminante.

IR_{ij} : Tasa de Incidencia²² del efecto i en la población j, en métrica diaria.

A continuación, se presenta la Tabla 32, que contiene información acerca de cuáles serán los efectos a evitar que se considerarán en la presente evaluación, con el respectivo

²¹ El coeficiente de relación Concentración-Respuesta representa la respuesta biológica del ser humano, frente a determinada concentración de MP_{2,5}, su métrica es diaria, debido a que la exposición al contaminante se considera aguda, al ser un efecto de corto plazo.

²² La Tasa de Incidencia corresponde a la cantidad de personas afectadas del total de la población expuesta.

grupo etario afectado²³, coeficiente de relación de Concentración-Respuesta y tasa de incidencia correspondiente.

Tabla 32: Ítems de Efectos Considerados en la Salud de la Población, Coeficiente C-R y Tasa de Incidencia respectiva.

Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Tipo de Exposición	Coeficiente C-R Inc por 10 ug/m ³	Fuente	Tasa de Incidencia por 100.000 habitantes
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	Aguda	1,2%	Cifuentes et al, 2000	505
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	Aguda	3,4%	Sheppard, 2003	60
			Niños	Aguda	3,3%	Dockery et al, 1989	40
	Cardiovascular	CVD	Adultos	Aguda	1,5%	Moolgavskar, 2000	545
			Adultos Mayores	Aguda	1,6%	Moolgavskar, 2003	4580
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	Aguda	1,3%	Ito, 2003	390
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	Aguda	2,4%	Moolgavskar, 2000	65
			Adultos Mayores	Aguda	1,2%	Ito, 2003	880
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	Aguda	4,1%	Ito, 2003	1915
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	Aguda	3,1%	Pooled	3550
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	Aguda	3,1%	Ito, 2003	640
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	Aguda	1,4%	Ito, 2003	305
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	Aguda	4,7%	Ostro, 1987	400.000
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	Aguda	4,9%	Ostro, 1987	646.000
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	Aguda	7,7%	Ostro & Rothschild, 1989	780.000

Fuente: Elaboración propia, en base a estudios GreenLabUC (2011a), Cifuentes, L. (2010).

Los coeficientes de relación de concentración-respuesta, corresponden a los valores recomendados por el estudio “Relación de la Norma de Calidad Primaria MP_{2,5} con la Norma de Calidad Primaria MP₁₀” desarrollado por Cifuentes (2010). En tanto, las tasas de incidencias de las enfermedades en la población, corresponden a los valores recomendados en el estudio “Guía Metodológica para la elaboración de un AGIES para instrumentos de Gestión de la Calidad del Aire” llevado a cabo por GreenLabUC (2011).

²³ Ver Anexo 10.13.

Cabe destacar, que para efectos de la evaluación se considerará como población j a una proporción de la población, la cual será calculada se acuerdo a proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2012) y dividida según grupos etarios, donde:

Tabla 33: Segmentación de la Población por Rango de Edades

Grupo Etario	Rango Edades
Niño	0-17
Adulto	18-64
Adulto Mayor	65 ó +

Fuente: Elaboración propia.

5.4.1 Valorización de los efectos

Para valorizar socialmente los efectos, existen dos enfoques convencionalmente aceptados, de acuerdo GreenLabUC (2012). El primero de ellos, corresponde a un análisis microeconómico, el cual busca estimar del valor de los efectos, en función de la disposición de pago de la población, en términos de disminuir los riesgos asociados a enfermedades provenientes de la exposición al contaminante en estudio. En cuanto al segundo enfoque de valorización, llamado Capital Humano, corresponde a un análisis macroeconómico, donde se busca determinar el valor de los efectos, en función del costo de tratamiento de enfermedades y de la pérdida de productividad, ya sea por muerte prematura o por ausentismo laboral.

Para la presente evaluación, se ha decidido optar por el segundo enfoque de valorización, esto en base a la información bibliográfica disponible para los efectos abordados. Cabe señalar que, si bien existen algunos estudios de disposición de pago de la

población, éstos son basados en encuestas poco objetivas, debido al reducido número de muestras y éstas, a su vez, no abarcan los efectos estudiados en su totalidad.

A continuación, se presentan los valores de los efectos en la salud de la población, que constituyen la base para la estimación de los beneficios económicos de las distintas alternativas:

Tabla 34: Valorización de los Efectos Estudiados

Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Valor UF/Caso
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	7.833,00
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	24,10
			Niños	22,10
	Cardiovascular	CVD	Adultos	48,90
			Adultos Mayores	48,70
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	48,10
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	31,00
			Adultos Mayores	31,60
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	34,20
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	34,10
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	31,60
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	24,40
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	0,72
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	0,21
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	0,00

Fuente: Elaboración propia, en base a estudios GreenLabUC (2012),

Respecto al valor del efecto Mortalidad Prematura, éste corresponde al valor presente de las ganancias futuras esperadas por la persona fallecida. Por su parte, el valor de las Admisiones Hospitalarias se asocia a los costos médicos incurridos por cada tipo de causa, a través del Fondo Nacional de Salud (FONASA) y de la Central Nacional de Abastecimiento

(CENABAST). Finalmente, el valor del efecto de Restricción de Actividad, corresponde al costo derivado de los días de licencia, producto de las distintas enfermedades planteadas.

5.5 Criterio de Selección de las Alternativas de Subsidios

Para poder determinar la conveniencia de cada alternativa a evaluar, se utilizarán 3 criterios de selección, los cuales se mencionan a continuación, en orden de aplicación:

- ✓ Valor Actual Neto, VAN
- ✓ Efectividad de la Alternativa
- ✓ Eficiencia de la Alternativa

Cabe mencionar que el primer criterio, VAN, se utilizará como mecanismo de descarte de alternativas que no sean socialmente rentable. De esta forma, sólo serán consideradas aquellas alternativas que presenten VAN positivo para una tasa de descuento del 6%, puesto que ésta corresponde a la tasa preestablecida por el Ministerio de Desarrollo Social, MIDESO, (2017).

En relación al segundo criterio de selección, la efectividad de las alternativas, ésta se medirá como aquella medida que presente las menores concentraciones del contaminante en estudio, al finalizar el horizonte de evaluación.

Finalmente, la eficiencia de cada alternativa se precisará como aquella opción que presente el mayor indicador BC, el cual se define a continuación:

Ecuación 12: Eficiencia Promedio de cada Alternativa

$$BC = \left[\sum_i \frac{Beneficios_i}{Costos_i} \right] / 10$$

Donde:

BC : Indicador de Eficiencia de la Alternativa i.

$Beneficios_i$: Beneficios generados por la implementación de la Alternativa i, valor presente UF.

$Costos_i$: Costos asociados a la implementación de la Alternativa i, valor presente UF.

10 : Factor de conversión a promedio del indicador.

5.6 Análisis de Sensibilidad

Luego de obtener los resultados originales de la investigación, se procede a la modificación del parámetro relacionado con el Modo de Operación de los Artefactos de Combustión, para observar cómo éste influye en la determinación de las concentraciones de MP2,5 y por consecuencia, en el análisis socioeconómico de las Alternativas.

Es importante volver a destacar, que la operación de los artefactos se considera mala, cuando se utiliza el tiraje cerrado, así como también señalar que, sólo se encuentran afectos los calefactores con o sin templadores, y los denominados leña eficiente o MMA, pues corresponden a combustiones lentas con opciones de manipulación por parte de los usuarios.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Subsidios Aplicados

Tanto el número de viviendas con consumo de leña seca, como la cantidad de recambio de calefactores y el número de reacondicionamientos térmicos, se presentan a continuación:

Tabla 35: Subsidio Compra de Leña Seca

Año	N° VIVIENDAS CON SUBSIDIO		N° VIVIENDAS CON SUBSIDIO ACUMULADO		TOTAL ARTEFACTOS AFECTADOS
	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE MEDIO	NSE BAJO	
BASE 2015	-	-	-	-	-
2016	862	621	862	621	2.967
2017	898	645	1.761	1.266	4.570
2018	936	668	2.696	1.935	6.235
2019	974	693	3.670	2.628	7.965
2020	1.013	718	4.684	3.346	9.761
2021	1.054	744	5.738	4.090	11.626
2022	1.096	771	6.834	4.861	13.561
2023	1.139	798	7.972	5.659	15.568
2024	1.183	826	9.155	6.485	17.649
2025	1.228	855	10.383	7.340	19.806

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Subsidio Recambio de Calefactores

	N° RECAMBIOS DE CALEFACTORES				N° RECAMBIOS DE CALEFACTORES ACUMULADO				
	NSE MEDIO		NSE BAJO		NSE MEDIO		NSE BAJO		
Año	Recambio Leña	Recambio Pellet	Recambio Leña	Recambio Pellet	Recambio Leña	Recambio Pellet	Recambio Leña	Recambio Pellet	TOTAL ARTEFACTOS AFECTADOS
BASE 2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	1.063	647	709	432	1.063	647	709	432	2.851
2017	1.063	647	709	432	2.126	1.295	1.418	863	5.702
2018	1.063	647	709	432	3.190	1.942	2.126	1.295	8.553
2019	1.063	647	709	432	4.253	2.590	2.835	1.726	11.404
2020	1.063	647	709	432	5.316	3.237	3.544	2.158	14.255
2021	1.063	647	709	432	6.379	3.884	4.253	2.590	17.106
2022	1.063	647	709	432	7.442	4.532	4.962	3.021	19.957
2023	1.063	647	709	432	8.506	5.179	5.670	3.453	22.808
2024	1.063	647	709	432	9.569	5.827	6.379	3.884	25.659
2025	1.063	647	709	432	10.632	6.474	7.088	4.316	28.510

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Subsidio Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas

	N° VIVIENDAS SUBSIDIADAS CON # ARTEFACTOS				N° VIVIENDAS SUBSIDIADAS CON # ARTEFACTOS ACUMULADO				
	NSE MEDIO		NSE BAJO		NSE MEDIO		NSE BAJO		
Año	1	2	1	2	1	2	1	2	TOTAL ARTEFACTOS AFECTADOS
BASE 2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	1.655	552	1.354	451	1.655	552	1.354	451	5.014
2017	1.655	552	1.354	451	3.309	1.103	2.707	902	10.028
2018	1.655	552	1.354	451	4.964	1.655	4.061	1.354	15.041
2019	1.655	552	1.354	451	6.618	2.206	5.415	1.805	20.055
2020	1.655	552	1.354	451	8.273	2.758	6.769	2.256	25.069
2021	1.655	552	1.354	451	9.927	3.309	8.122	2.707	30.083
2022	1.655	552	1.354	451	11.582	3.861	9.476	3.159	35.096
2023	1.655	552	1.354	451	13.236	4.412	10.830	3.610	40.110
2024	1.655	552	1.354	451	14.891	4.964	12.183	4.061	45.124
2025	1.655	552	1.354	451	16.545	5.515	13.537	4.512	50.138

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, los subsidios van destinados en una mayor proporción al NSE Medio. Esto se debe al hecho de que, por un lado, la mayor cantidad de personas que habitan en la comuna, pertenecen a este estrato social, siendo los mayores consumidores de leña, y por el otro, a que 2 de las 3 alternativas evaluadas, contemplan el copago como mecanismo de

implementación de las medidas, luego se asume que las familias de NSE Bajo podrán acceder en menor proporción que aquellas que poseen mayores ingresos.

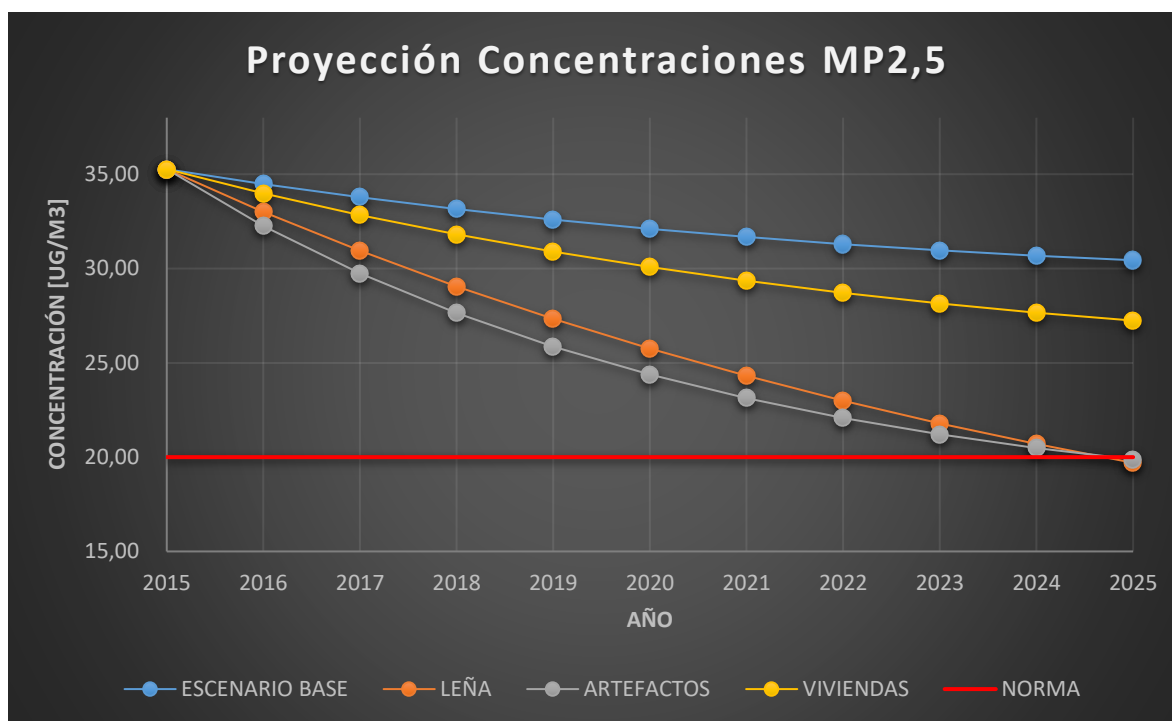
Además, es posible analizar que la cantidad de artefactos afectados por el subsidio es menor en la Alternativa 1, alcanzando su máximo en la tercera Alternativa, correspondiente al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas. Esto ocurre debido a los supuestos utilizados, donde tanto para la alternativa de consumo de leña seca, como en el recambio de artefactos, se asume que el subsidio se aplica sobre viviendas con 1 artefacto. En cambio, para la alternativa 3, se asumen viviendas con 1 o 2 artefactos, ya que de lo contrario no era posible observar grandes variaciones en la concentración del contaminante.

6.2 Evolución en las Concentraciones de MP_{2,5}

A través de la estimación de las emisiones residenciales y aquellas provenientes de otras fuentes, es posible proyectar las concentraciones del Material Particulado Fino que se esperan para los próximos 10 años en Osorno, tanto para el escenario base, como para las 3 alternativas evaluadas²⁴.

²⁴ Ver Anexo 10.14.

Gráfico 5: Evolución de las Concentraciones Proyectadas de MP_{2,5}



Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, es posible analizar que las concentraciones del escenario base son decrecientes a lo largo de los años. Esto se debe principalmente, a la tasa natural de recambio de los artefactos, los cuales han excedido su vida útil, y al nuevo parque de viviendas provenientes del crecimiento natural de la población. Sin embargo, dicha disminución no logra por sí sola, alcanzar los niveles de contaminantes exigidos por la norma vigente.

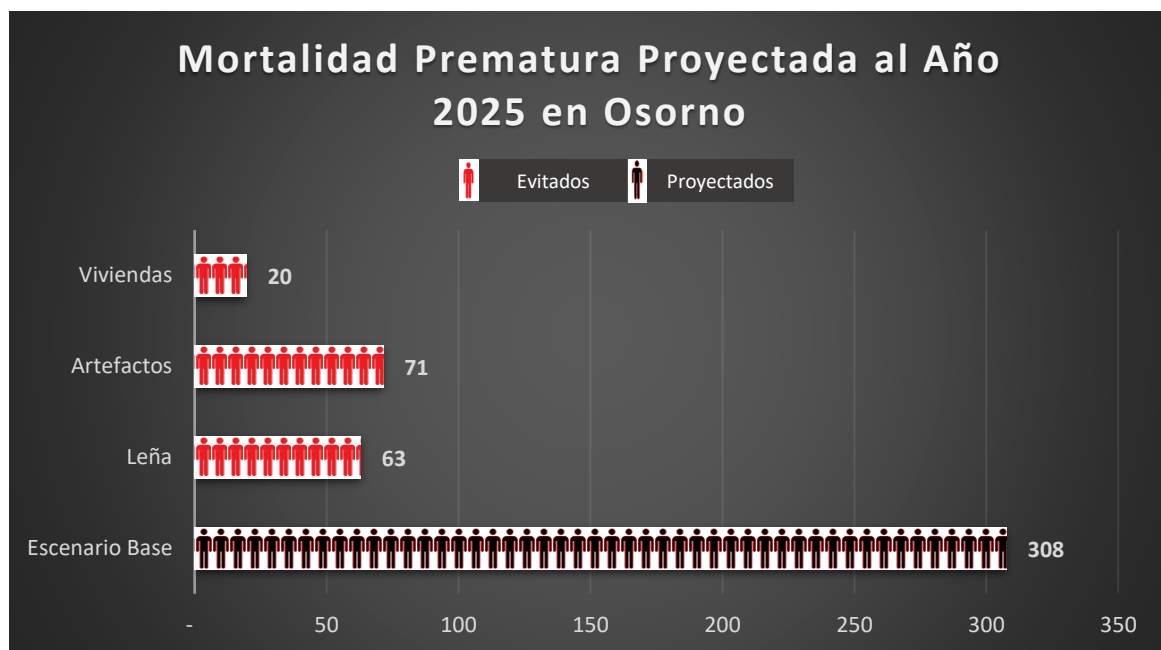
Por otro lado, de la gráfica se aprecia que las 3 alternativas evaluadas constituyen un mejoramiento en cuanto a la situación proyectada base. No obstante, la medida del Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, corresponde a la única alternativa que no logra alcanzar la concentración objetivo de la investigación. Lo anterior se puede deber al hecho de que, aun teniendo mejores condiciones de aislación y utilizando una menor cantidad

de combustible, las viviendas siguen utilizando en su mayoría artefactos antiguos y/o los operan de forma incorrecta, lo que no permite reducir gran medida la emisión del contaminante.

6.3 Beneficios en la Salud de la Población

A continuación, se presentan los casos proyectados y evitados al último año de la evaluación para las 3 alternativas bajo análisis, para el ítem mortalidad, admisiones hospitalarias y restricciones de actividad, todas derivadas de la exposición al contaminante en estudio.

Gráfico 6: Casos Proyectados y Evitados en Mortalidad Prematura



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: Casos Proyectados y Evitados en Admisiones Hospitalarias



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8: Casos Proyectados y Evitados en Restricción de Actividades



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que, para los 3 ítems de efectos estudiados²⁵, la Alternativa 2, correspondiente al Recambio de Artefactos produce un mayor impacto en los casos que se logran evitar, lo cual se debe a que dicha medida, alcanza una reducción más rápida en las concentraciones de Material Particulado Fino Respirable que las otras dos alternativas planteadas.

6.4 Rentabilidad de las Alternativas

Una vez determinadas las mejoras en la salud de la población expuesta al contaminante, es posible cuantificar los beneficios económicos²⁶ generados por las distintas alternativas, así como también, los costos asociados a sus implementaciones²⁷.

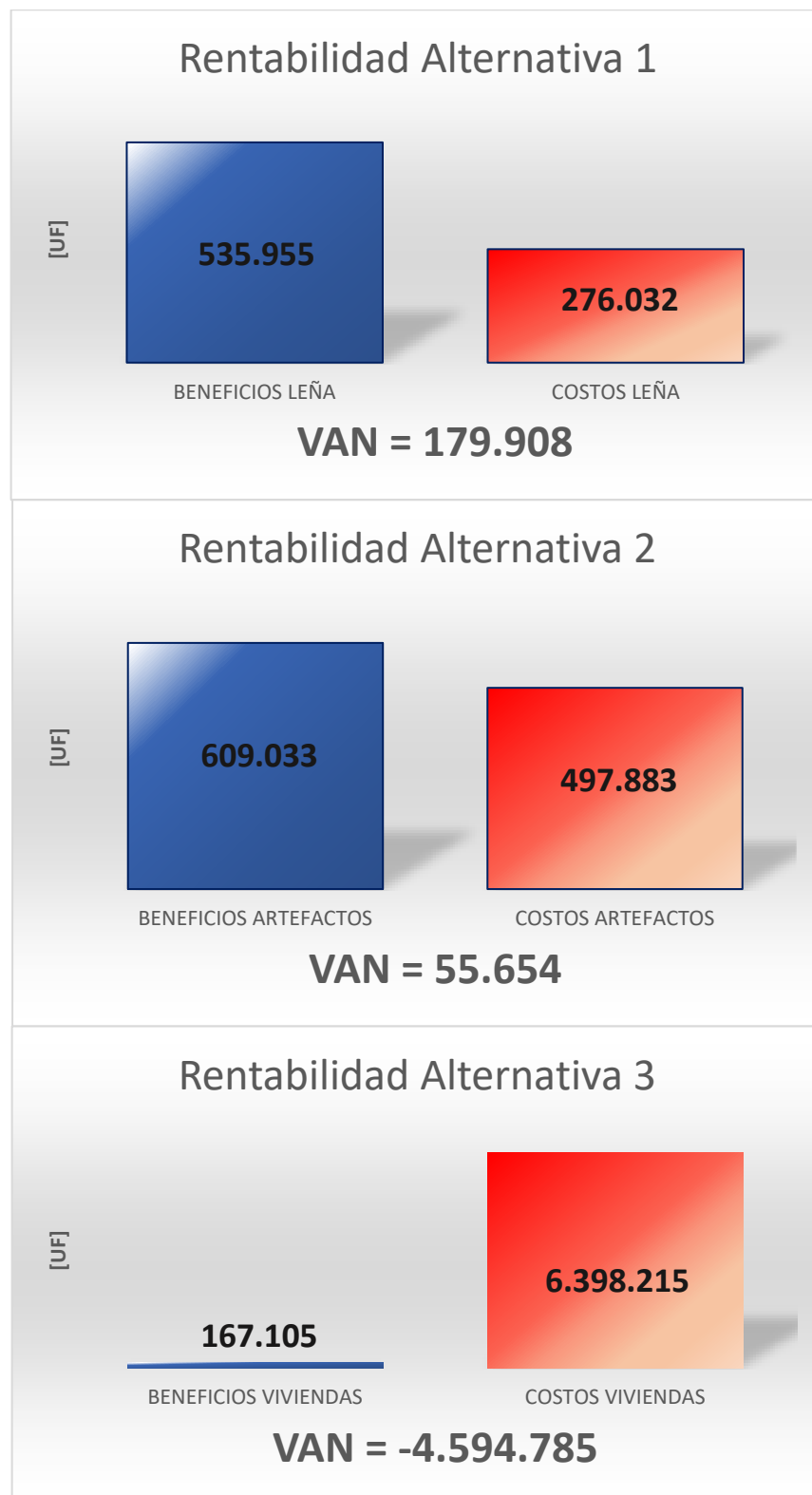
De este modo, se presenta la rentabilidad social de cada medida evaluada.

²⁵ Ver Anexo 10.15.

²⁶ Ver Anexo 10.16.

²⁷ Ver Anexo 10.17.

Gráfico 9: Beneficios, Costos y Rentabilidad de las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

De las gráficas, se observa que el Recambio de Calefactores logra 609.033 [UF], alcanzando el mayor beneficio económico de las alternativas evaluadas, seguida por el Consumo de Leña Seca, la cual consigue una mejora económica de 535.955 [UF]. Sin embargo, los menores beneficios monetarios provienen del reacondicionamiento de las viviendas, lo cual es lógico, debido a que ésta reduce en menor grado las concentraciones del contaminante y, por ende, logra evitar menos efectos en la salud de las personas, en comparación a las otras medidas consideradas.

Se vuelve relevante señalar el aporte de cada ítem de efectos en la salud a los beneficios económicos obtenidos, donde para las 3 alternativas, el ítem de mortalidad corresponde al mayor contribuyente con más del 90%, seguido de las restricciones de actividad con un 7% y admisiones hospitalarias representando un aporte cercano al 3% del beneficio económico total.

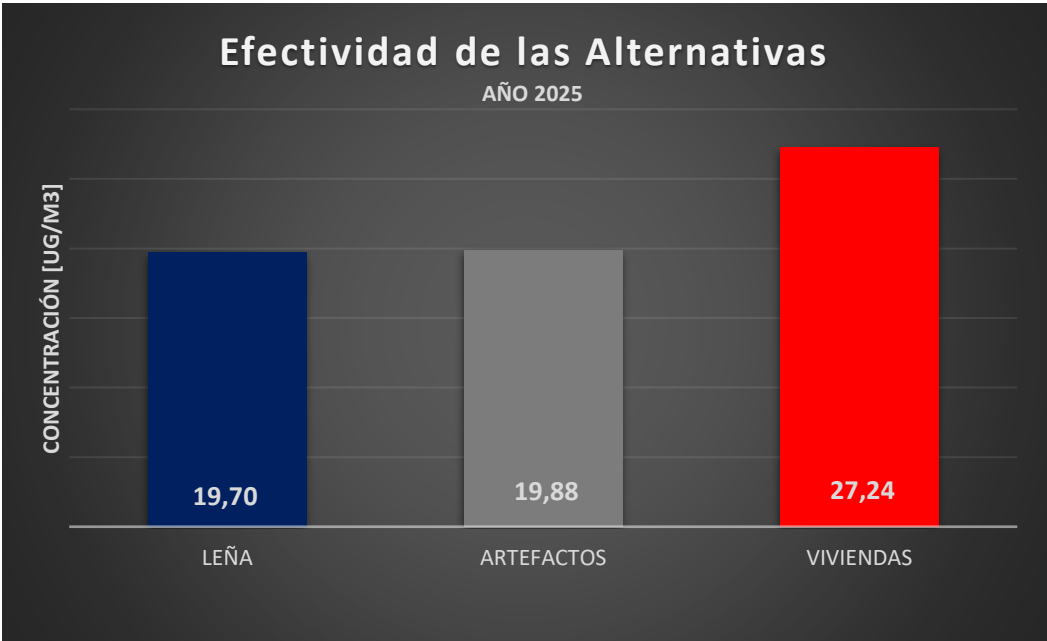
En cuanto a los costos, la alternativa 1 es la más conveniente, puesto que las medidas 2 y 3, implican un 80% y un 2.300% más de costos asociados a su implementación, respectivamente. Cabe recordar, que dichas alternativas, presentan un copago por parte de la población, el cual para el caso del recambio de artefactos representa un 25% del costo total de la medida, y para el reacondicionamiento alcanza un 0,3%.

En consecuencia, el VAN de las alternativas arroja que tanto la medida de consumo de leña seca, como el recambio de calefactores son proyectos viables desde una perspectiva económica social, no así el reacondicionamiento térmico de las viviendas, debido a que los costos superan ampliamente los beneficios generados. Luego, dicha alternativa debiese ser descartada como opción dentro del Plan de Descontaminación Atmosférico.

6.5 Efectividad de las Alternativas

A continuación, se presenta la gráfica correspondiente al nivel de contaminante alcanzado al final del periodo de evaluación, nivel que, de acuerdo a la metodología aplicada, representa el grado de efectividad que alcanza cada medida, en cuanto a la disminución de Material Particulado Fino presente en la atmósfera.

Gráfico 10: Efectividad Alcanzada por las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

Analíticamente, se observa que tanto la Alternativa 1, correspondiente al Consumo de Leña Seca, como la Alternativa 2, Recambio de Calefactores, son efectivas en la reducción del contaminante, puesto que, dentro de los 10 años evaluados, se logra alcanzar la concentración objetivo que especifica la norma vigente. Sin embargo, el Reacondicionamiento de Viviendas no constituye una medida efectiva, dado que, aun siendo aplicada sobre el máximo de artefactos permitidos, la concentración sólo disminuye en

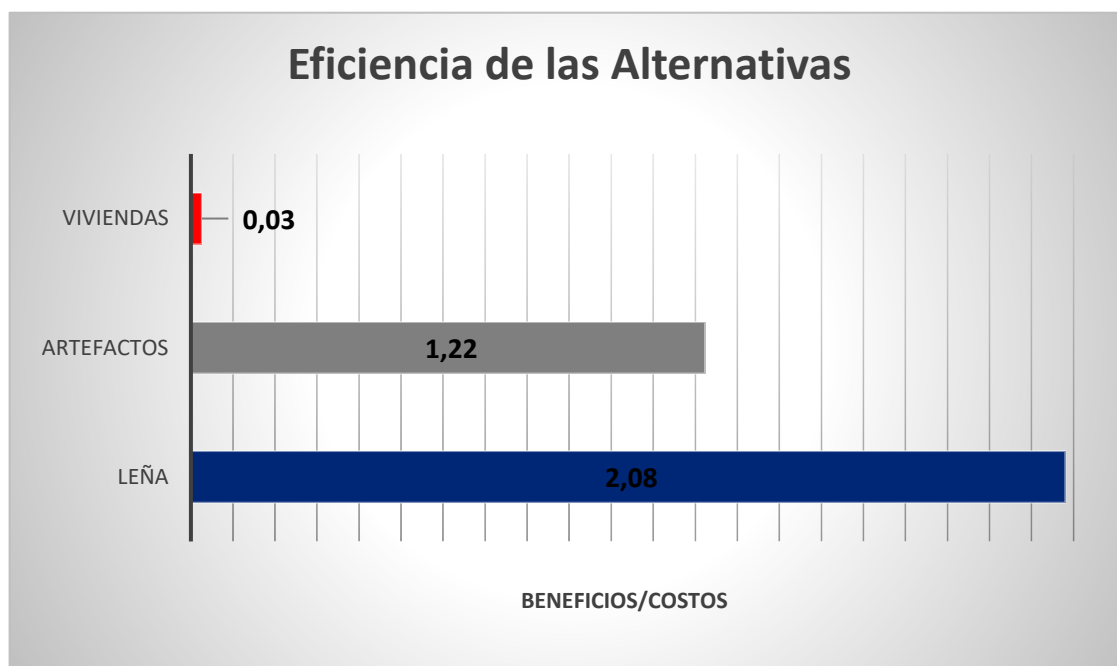
3[$\mu\text{g}/\text{m}^3$] respecto del mismo año del escenario base, estando muy lejos de lograr los 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] anuales que exige la actual legislación.

Luego, nuevamente la Alternativa 3, debiese ser descartada como posible medida a implementar dentro del PDAO, ya que no cumple con la efectividad esperada.

6.6 Eficiencia de las Alternativas

Respecto a la Eficiencia alcanzada por las distintas alternativas, éstas se resumen en el siguiente gráfico:

Gráfico 11: Eficiencia de las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la Alternativa 1 presenta el mejor indicador BC, lo cual significa que dicha medida es la que alcanza el más alto cociente entre los beneficios económicos generados y sus respectivos costos de implementación, siendo altamente eficiente en

comparación a las otras dos alternativas evaluadas. Lo anterior se debe principalmente a los bajos costos relativos de aumentar el consumo de leña seca.

En relación al Recambio de Artefactos, si bien presenta mayores beneficios totales que la medida de leña seca, sus costos de implementación son mayores, lo cual no permite que el indicador de eficiencia sea mayor.

Por último, la Alternativa 3 correspondiente al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, presenta el peor índice BC, lo cual era esperable, dado que alcanza el menor beneficio económico y presenta los mayores costos de implementación.

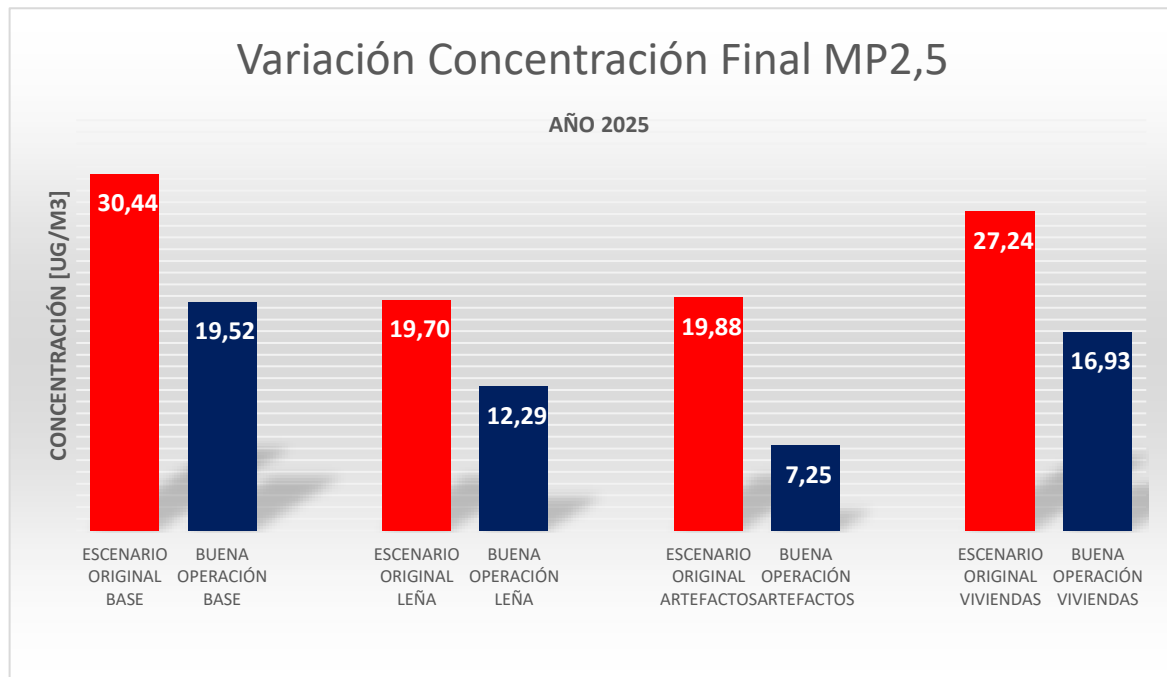
6.7 Análisis de Sensibilidad

6.7.1 Variación en las Concentraciones de $MP_{2,5}$ de las Alternativas

A continuación, se presentan las variaciones en la concentración del contaminante en estudio, debido a la modificación del parámetro asociado al modo de operación de los artefactos²⁸, para lo cual se considera que el 100% de la población utiliza correctamente el tiraje de éstos.

²⁸ Ver Anexo 10.18.

Gráfico 12: Variación en las Concentraciones de MP_{2.5} de las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la manipulación correcta de los artefactos de combustión, permite lograr la concentración objetivo de contaminante en el Escenario Base, es decir, la combinación del modo de operación junto a la tasa natural de recambio de calefactores y el aumento del parque de viviendas nuevo, logra disminuir las concentraciones de MP_{2,5}, sin la necesidad de llevar a cabo medidas de mitigación adicionales, lo cual constituye un importante descubrimiento dentro de la investigación.

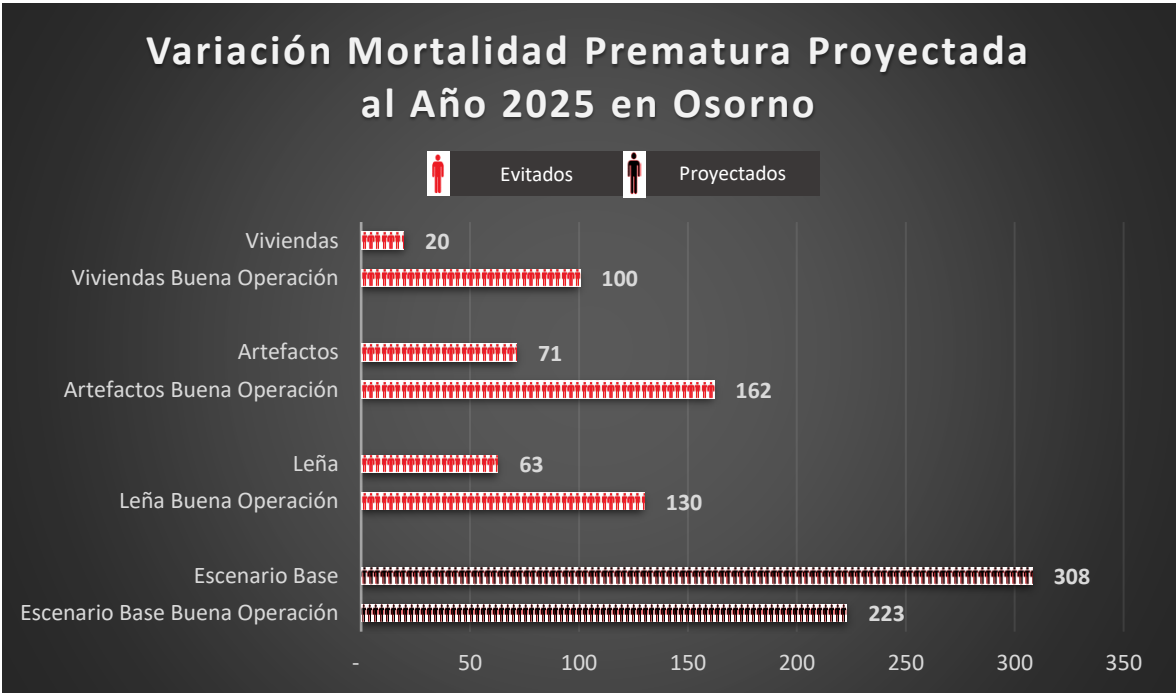
Además, se aprecia que en general las 3 alternativas logran alcanzar niveles de concentración menores que los obtenidos en los escenarios originales, destacándose el caso del Reacondicionamiento Térmico de las viviendas, el cual inicialmente no era capaz de lograr la concentración objetivo del estudio, sin embargo, al modificar el modo de operación de los artefactos de combustión, se alcanza dicha concentración.

Ahora bien, existe una disminución promedio porcentual del 28% para las Alternativas 1 y 3, y de un 40% para la Alternativa 2, diferencia que radica en la cantidad de artefactos que están afectos a los cambios, pues tanto la medida 1 como la 3, tienen la misma cantidad de calefactores con o sin templador (se incluyen los artefactos de leña eficiente y MMA), en cambio, la Alternativa 2 aumenta la cantidad de este tipo de artefactos presentes en la Comuna.

6.7.2 Variación en los Beneficios de la Salud de la Población

Debido a la disminución de las concentraciones del contaminante en las Alternativas evaluadas, se presentan los nuevos casos evitados²⁹ en contraste con la proyección de los casos evitados para los escenarios originales de cada medida.

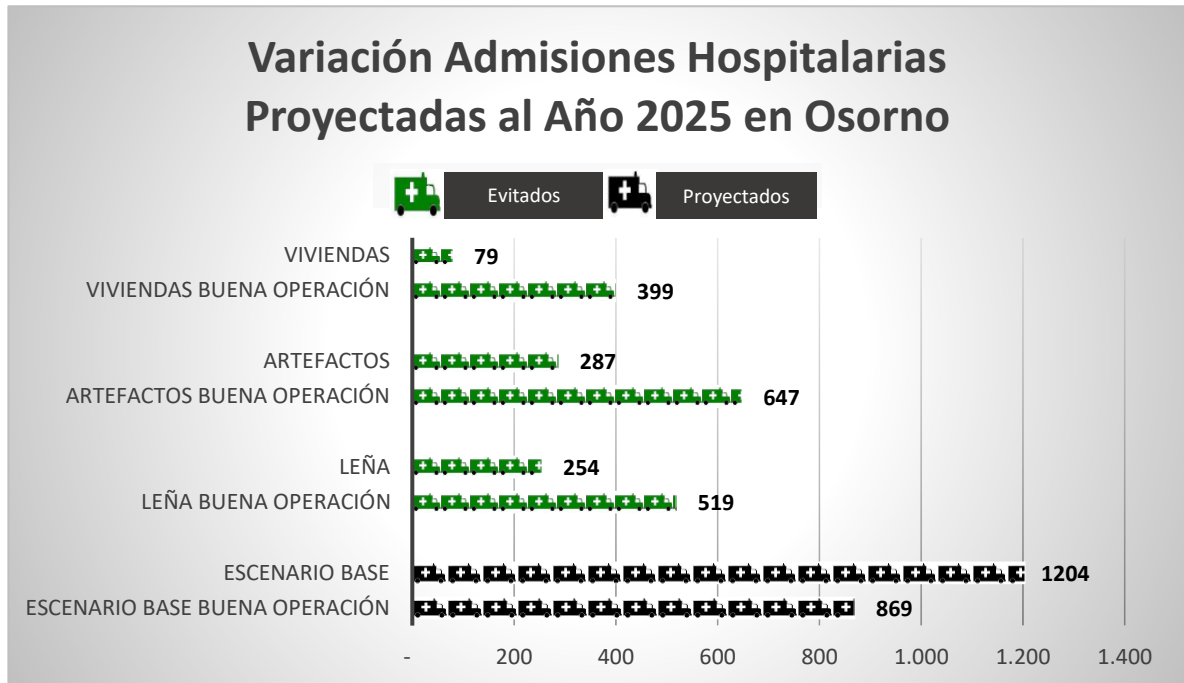
Gráfico 13: Variación Casos Evitados en Mortalidad Prematura



Fuente: Elaboración propia.

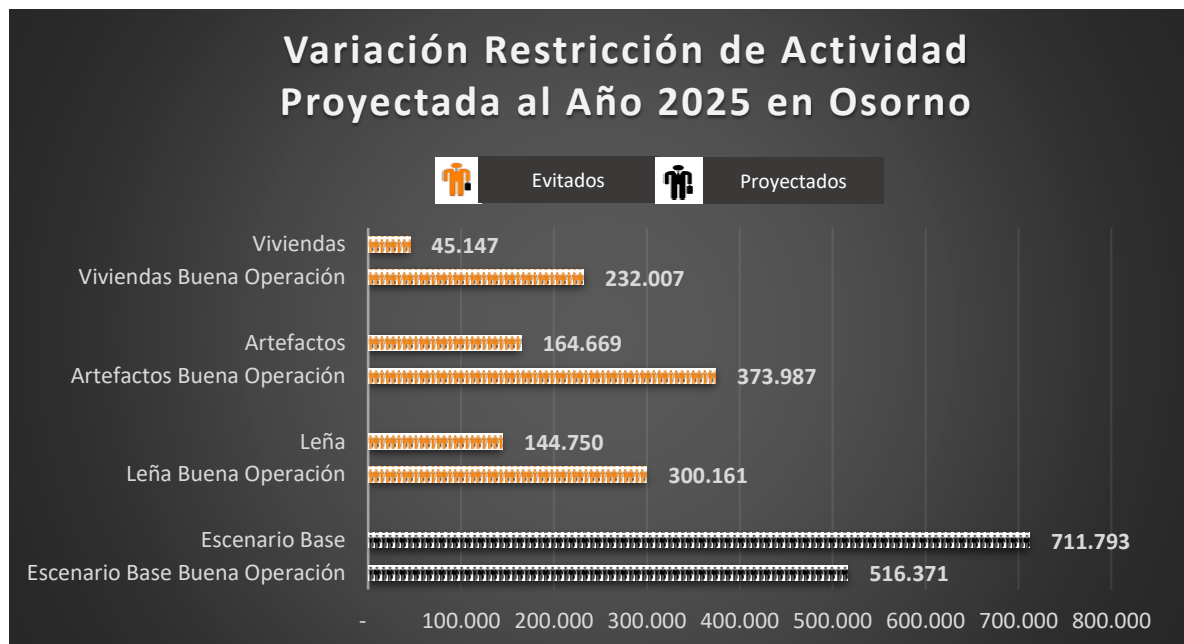
²⁹ Ver Anexo 10.19.

Gráfico 14: Variación Casos Evitados en Admisiones Hospitalarias



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15: Variación Casos Evitados en Restricción de Actividades



Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, es posible apreciar una disminución de los casos proyectados para cada efecto estudiado, dónde, el mayor grado de disminución se observa en el número de admisiones hospitalarias estimadas, con una variación del 28%. Lo anterior recalca la importancia e influencia que tiene el modo de operación de los artefactos.

En relación a los casos evitados, nuevamente se observa que la Alternativa 2 logra evitar un mayor número de efectos en la salud de la población, ya sea en cuanto a reducción de mortalidad prematura, admisiones hospitalarias o restricciones de actividad.

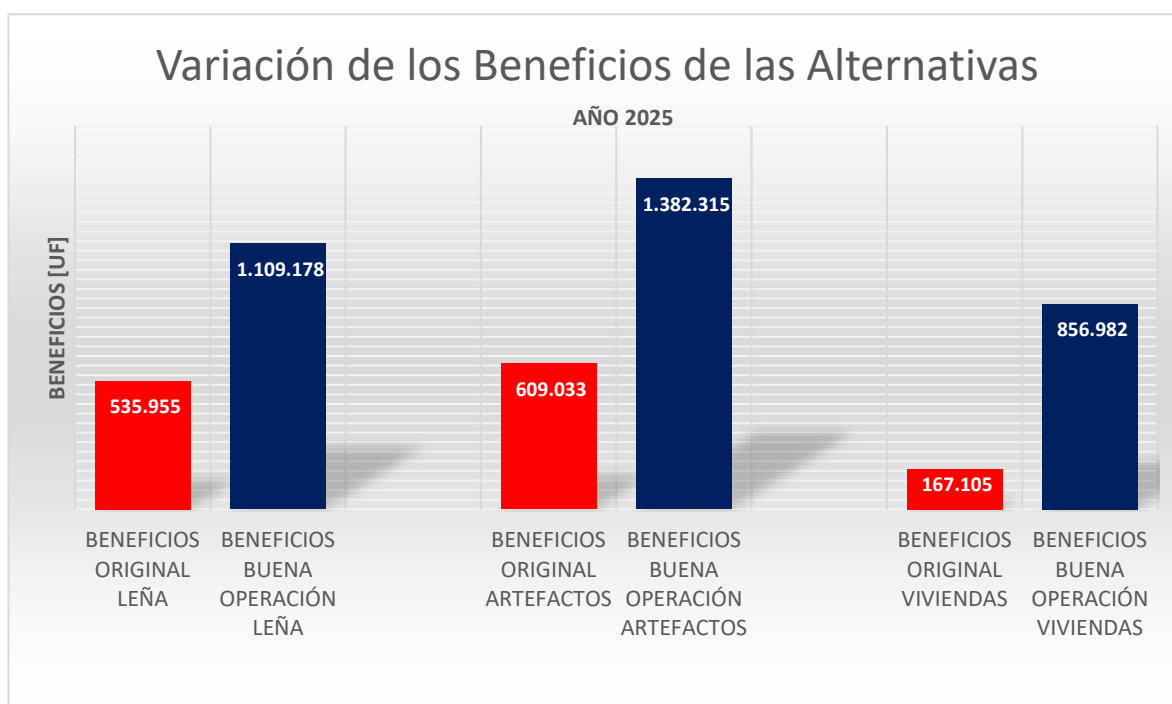
Además, es posible analizar, que utilizar de forma correcta los calefactores provoca una mayor variación en los casos evitados correspondientes a la Alternativa del Reacondicionamiento de las viviendas, donde éstos aumentan en más de un 500%, lo cual viene a corroborar el análisis original realizado para dicho escenario, donde una de las razones de la escasa disminución del contaminante era atribuible a la mala operación de los artefactos.

6.7.3 Variación Rentabilidad de las Alternativas

Dado que el cambio en el modo de operar los artefactos provoca un aumento en los casos evitados sobre la salud de la población, consecuentemente se genera una variación en la cuantificación de los beneficios económicos asociados a cada alternativa³⁰. Es importante recalcar que la modificación en el parámetro, corresponde a un cambio conductual de las personas, por lo cual no se consideró un costo adicional de implementación a las medidas evaluadas.

³⁰ Ver Anexo 10.20.

Gráfico 16: Variación Beneficios generados por las Alternativas



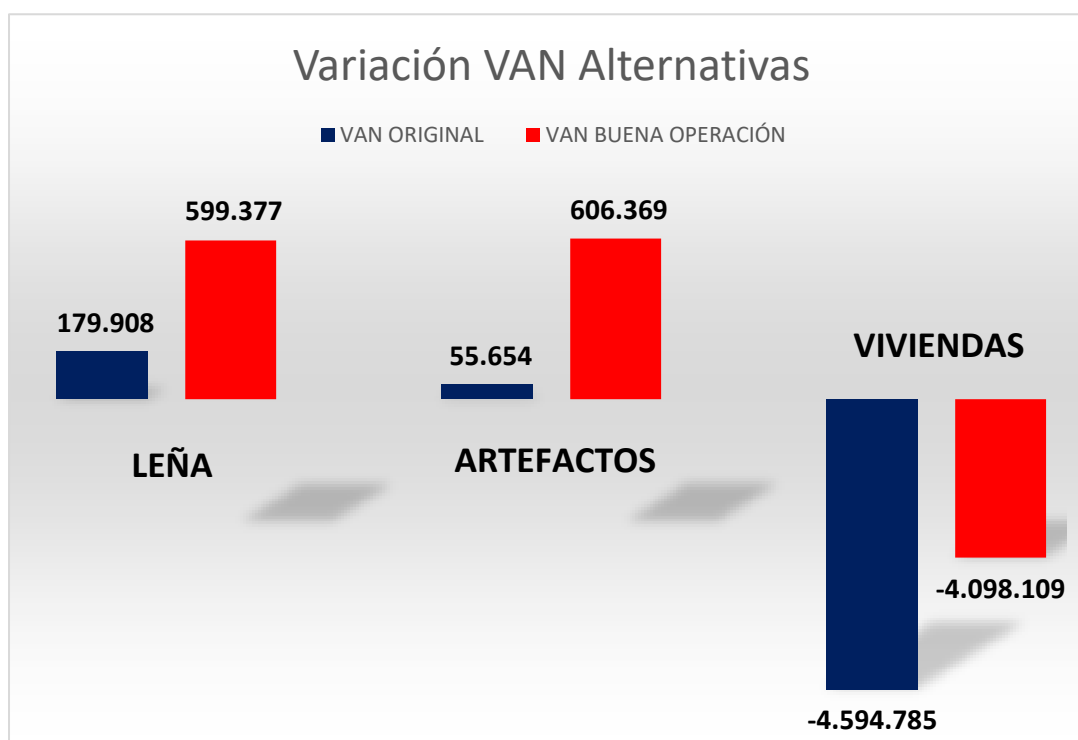
Fuente: Elaboración propia.

La gráfica muestra el aumento de los beneficios económicos de las 3 Alternativas, siendo el Recambio de Calefactores el que logra los mayores niveles con más de 1.380.000 [UF], seguida de cerca por la medida de Consumo de Leña Seca.

En cuanto a la variación promedio, se observa que los beneficios de las Alternativas 1 y 2, aumentan en un 200% aproximado, en cambio, la Alternativa 3 experimenta la mayor alza con una variación que alcanza un 500% de mejoras económicas, respecto al escenario original planteado.

A continuación, se presenta la nueva rentabilidad social lograda por las distintas alternativas:

Gráfico 17: Variación Rentabilidad de las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, al modificar el modo de operación de los artefactos, el análisis económico social de las alternativas cambia, siendo la opción más rentable el Recambio de Artefactos, dejando en segunda posición la medida del Consumo de Leña Seca, siendo el último, el Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, alternativa que continúa siendo inviable desde la perspectiva económica.

En cuando a la variación porcentual, se destaca el gran aumento experimentado en el VAN de los Artefactos, el cual crece en más de 1.000%, variación que en el caso de la Alternativa de Leña Seca representa un 330% aproximado y un 90% para la Alternativa 3.

6.7.4 Variación Efectividad de las Alternativas

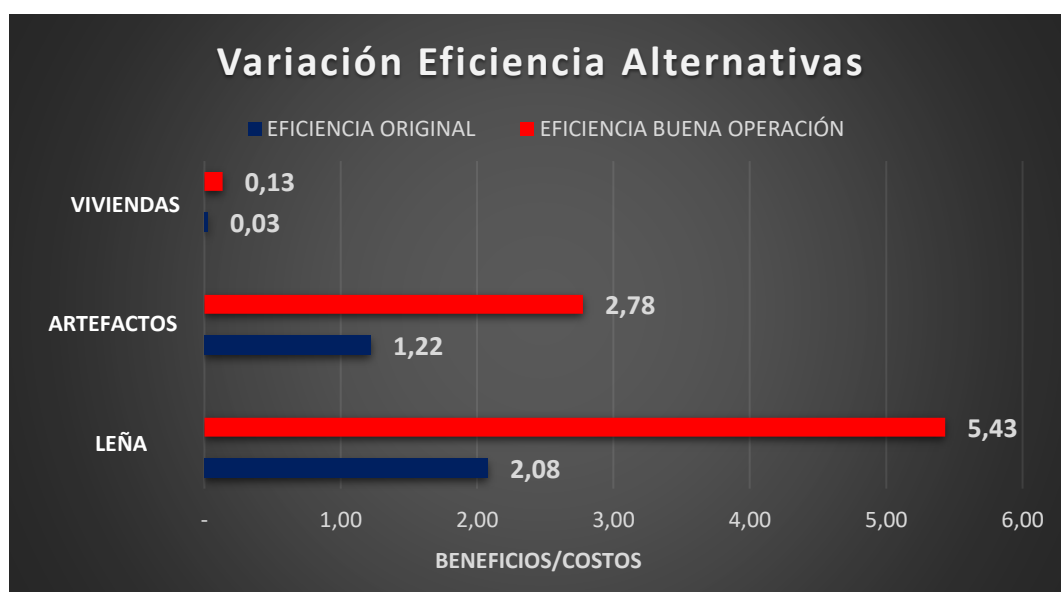
Para analizar la efectividad de las alternativas, se necesitará el apoyo del Gráfico 12, Variación en las concentraciones de MP2,5, la cual muestra que la Alternativa 2 es la más efectiva en cuanto a la reducción del contaminante en estudio, resultado que varía en comparación al análisis de los resultados originales planteados con anterioridad, donde la opción más efectiva correspondía a la Alternativa 1 de Consumo de Leña Seca. Dicho cambio se explica debido a la cantidad de artefactos afectos a la manipulación de los usuarios, donde, como se ha comentado, la medida del Recambio de Calefactores posee una mayor cantidad de este tipo de artefactos.

Se destaca el gran avance logrado por la Alternativa 3 en cuanto a la disminución del Material Particulado fino, alcanzando cerca de un 40% menos de concentraciones que su escenario original.

6.7.5 Variación Eficiencia de las Alternativas

Los cambios obtenidos en cuanto a eficiencia de las alternativas se resumen a continuación:

Gráfico 18: Variación Eficiencia Alcanzada por las Alternativas



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica muestra cómo varía el indicador Beneficios/Costos de las distintas alternativas, donde es posible apreciar que éstas aumentan su grado de eficiencia, dado que las 3 medidas logran ampliar el número de casos evitados en la salud de la población, lo cual se traduce en mayores beneficios económicos, permitiendo que el índice crezca, dado que los costos se mantienen inalterados.

El análisis de los resultados originales, para este ítem no varían, ya que la Alternativa 1 sigue siendo la más eficiente, seguida del Recambio de Calefactores y el Reacondicionamiento de Viviendas.

Se recalca que la mayor variación del índice lo experimenta la Alternativa 3, quintuplicando su valor inicial, lo cual es consecuencia de haber logrado el mayor aumento de beneficios económicos dentro de las 3 medidas, sin embargo, como se observa continúa siendo la peor alternativa en cuanto a eficiencia se refiere.

7 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que las alternativas evaluadas en general, constituyen medidas que logran disminuir la contaminación atmosférica presente en la Comuna de Osorno, lo cual queda demostrado a la hora de comparar las concentraciones finales obtenidas para el año 2025 en cada alternativa, frente al escenario base proyectado.

Ahora bien, de mantenerse las condiciones estipuladas en el escenario base, es posible afirmar que la mala calidad del aire persistiría en Osorno, puesto que la tasa natural de recambio de artefactos y la actualización del parque de viviendas, no son suficientes para reducir las concentraciones de $MP_{2,5}$ a los niveles esperados, por lo cual se justifica la implementación de medidas adicionales que, de alguna u otra forma, incentiven el cambio en el comportamiento actual de los osorninos, respecto a la combustión residencial.

Respecto de la rentabilidad social obtenida por cada alternativa, se concluye que el Consumo de Leña Seca, corresponde a la opción que presenta el mayor VAN, seguida del Recambio de calefactores, siendo ambas medidas viables de implementar, desde una perspectiva económica.

En cuanto a efectividad y eficiencia, los mejores resultados son los alcanzados nuevamente, por la Alternativa 1 Subsidio a la Compra de Leña Seca, puesto que constituye la medida que logra el menor nivel de contaminante al finalizar la evaluación, y a su vez, obtiene el mayor indicador de Beneficios/Costos, siendo altamente eficiente.

Luego, la Alternativa 3 correspondiente al Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, se descarta como opción conveniente de implementar dentro del marco del Plan de

Descontaminación Atmosférico de Osorno, puesto que corresponde a la medida que presenta los peores índices, tanto de eficiencia, como de eficacia, siendo, además, una opción inviable de llevar a cabo, desde un punto de vista económico, debido a sus altísimos costos asociados.

En consecuencia, a partir del análisis de los 3 criterios de selección considerados en la presente evaluación, es posible determinar la Alternativa 1 Subsidio a la Compra de Leña Seca, es la medida más conveniente para implementar en la Comuna de Osorno.

Por otro lado, al modificar el parámetro relacionado con el modo de operación de los artefactos de combustión, se observa que las 3 alternativas mejoran sus indicadores de desempeño.

En este sentido, respecto al escenario base se aprecia que los niveles de contaminación logran alcanzar la concentración exigida por la norma vigente, sin la necesidad de llevar a cabo medidas adicionales en la Comuna, lo cual constituye un importante descubrimiento.

Al analizar los nuevos resultados obtenidos en cuanto a rentabilidad de las alternativas, se concluye que existe una variación relevante, debido a que el Recambio de Calefactores se convierte en la alternativa con mayor VAN, dejando en segundo lugar el Subsidio a la Compra de Leña Seca.

Análogamente, es posible determinar que, en relación a la efectividad alcanzada, el Recambio, nuevamente logra destronar a la alternativa 1, convirtiéndose en la medida que logra los menores niveles de $MP_{2.5}$ en la atmósfera.

En el caso de la eficiencia, el indicador aumenta en las 3 alternativas, no observándose variaciones en las conclusiones expuestas con anterioridad.

Como resultado de la modificación del modo de operar los artefactos, es posible determinar que el Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, continúa siendo descartada dentro de las medidas a implementar.

Finalmente, se determina que la alternativa más conveniente de implementar, considerando la modificación del parámetro antes mencionado, corresponde al Recambio de Calefactores, puesto que obtiene los mejores resultados en dos, de los tres criterios de selección considerados en la presente evaluación.

8 RECOMENDACIONES

Teniendo en consideración los resultados obtenidos y las conclusiones detalladas con anterioridad, se presentan las siguientes recomendaciones:

- A la hora de implementar el Subsidio a la Compra de Leña Seca, es necesario considerar previamente, la realización de grandes esfuerzos en cuanto a lo relacionado con la regularización del mercado actual de leña que existe en la Comuna, puesto que de lo contrario se prevé que existan inconvenientes, dada la informalidad de operación que actualmente, desarrollan los proveedores de este tipo de combustible.
- Si bien, los resultados en primera instancia determinan la conveniencia de implementar un Subsidio de Compra de Leña Seca, se recomienda tener en consideración que dicha medida representa un cambio de comportamiento temporal de las personas beneficiadas, puesto que, de eliminarse la subvención por parte del Estado, es muy probable que se observe un revés en los niveles de contaminación logrados.
- Dado lo anterior, se recomienda la implementación del Recambio de Calefactores, puesto que independiente del modo de operación de éstos y de la mayor inversión requerida, la medida representa un cambio permanente en los niveles de contaminación generados en la Comuna de Osorno, constituyendo una mejor política pública de largo plazo.

- Finalmente, se recomienda complementar la opción del Recambio, dando énfasis al 4to eje estratégico del PDAO, el cual se relaciona con la educación y sensibilización de la población de la Comuna de Osorno, que si bien, no fue abordado en esta investigación, los resultados apuntan y revelan la gran influencia que tiene modo de operación de los artefactos en los niveles de contaminación atmosférica que presenta la comuna y demuestran cómo un cambio conductual de la población puede mejorar considerablemente las condiciones actuales, sin la necesidad de tener que realizar grandes inversiones.

9 REFERENCIAS

- Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmosférica* (Vol. 45). Universidad de Castilla La Mancha.
- Cifuentes, L. (2010). Relación de la Norma de Calidad Primaria MP2, 5 con la Norma de Calidad Primaria de MP10. *Santiago, Chile. p158.*
- Comisión Nacional Del Medio Ambiente, CONAMA. (2010). *Informe final relación de la norma de calidad primaria MP2,5 con la norma de calidad primaria de MP10.* Santiago, Chile: Autor.
- Comisión Nacional de Energía, CNE. (2006). *Diagnóstico del mercado de la leña en Chile.* Santiago, Chile: Autor.
- Decreto Supremo N°47 del Ministerio del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 28 de octubre de 2015.
- EPA, D. (2009). Integrated science assessment for particulate matter. *US Environmental Protection Agency Washington, DC.*
- GreenLabUC (2011a). Guía metodológica para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire. Santiago, Chile. p207.

GreenLabUc (2012). Nuevos elementos para la inclusión de la distribución de beneficios en la elaboración de AGIES. Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). *Censo de Población y Vivienda 2002*. Recuperado de:

<http://espino.ine.cl/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPCHL2KREG&MAIN=WebServerMain.inl>

Instituto Nacional de Estadísticas. (2012). *Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020*. Santiago, Chile: Autor.

Jorquera, H. (2007). *Apuntes de contaminación atmosférica*. Santiago, Chile: UC.

Lacasaña-Navarro, M., Aguilar-Garduño, C., & Romieu, I. (1999). Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud pública de México*, 41(3), 203-215.

Ley N°19.300. Diario Oficial de la República de Chile. Santiago de Chile, 01 de Marzo de 1994.

Ministerio de Desarrollo Social. (2017). *Precios Sociales Vigentes para el año 2017*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2011). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Bases administrativas, técnicas y documentos anexos para licitación pública del contrato: Estudio de consumo y caracterización del uso de la leña en la ciudad de Osorno*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2013). *Análisis Energético de Viviendas para ciudades del Centro y Sur de Chile, y Sistematización en la información asociada a la Leña, Osorno*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Planes de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014-2018*. Santiago, Chile: Autor

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Plan de Descontaminación Atmosférico para la comuna de Osorno*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes: Reporte 2005-2014*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Programa de Recambio de calefactores. Llamados Cerrados. Recuperado de: <http://calefactores.mma.gob.cl/>

Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Plan de Descontaminación Atmosférica de Santiago*.

Recuperado de: <http://www.santiagorespira.gob.cl/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2008). *El Crecimiento de los Hogares en Chile: Proyección y Análisis de la Evolución de los Hogares a escala Nacional, Regional y Comunal (2002-2018)*. Santiago, Chile: Autor.

Houck, J. E., & Broderick, D. R. OES. (2005). PM_{2.5} emission reduction benefits of replacing conventional uncertified cordwood stoves with certified cordwood stoves or modern pellet stoves. *OMNI Environmental Services, Inc., Prepared for Hearth, Patio and Barbecue Association*.

Organización Mundial de la Salud OMS. (2005). *Guía de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización Mundial 2005*. Ginebra, Suiza: Autor.

O'Ryan, R., & Larraguibel, L. (2000). *Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones* (No. 75). Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile.

Pereira, A. (2012). *Evaluación técnico-económica de alternativas a la calefacción residencial a leña en ciudades de la zona centro-sur de Chile*. (Memoria de Título de Ingeniería Civil Industrial). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Pope III, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*, 56(6), 709-742.

Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista cubana de higiene y epidemiologia*, 44(2), 0-0.

Sodimac. (2017). Precios Artefactos de combustión. Recuperado de: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/2900300/Calefactor-a-lena-Limit380/2900300>

Universidad Católica de Temuco. (2013). *Estudio de Consumo y Caracterización del Uso de la Leña en la ciudad de Osorno*. Temuco, Chile: Autor.

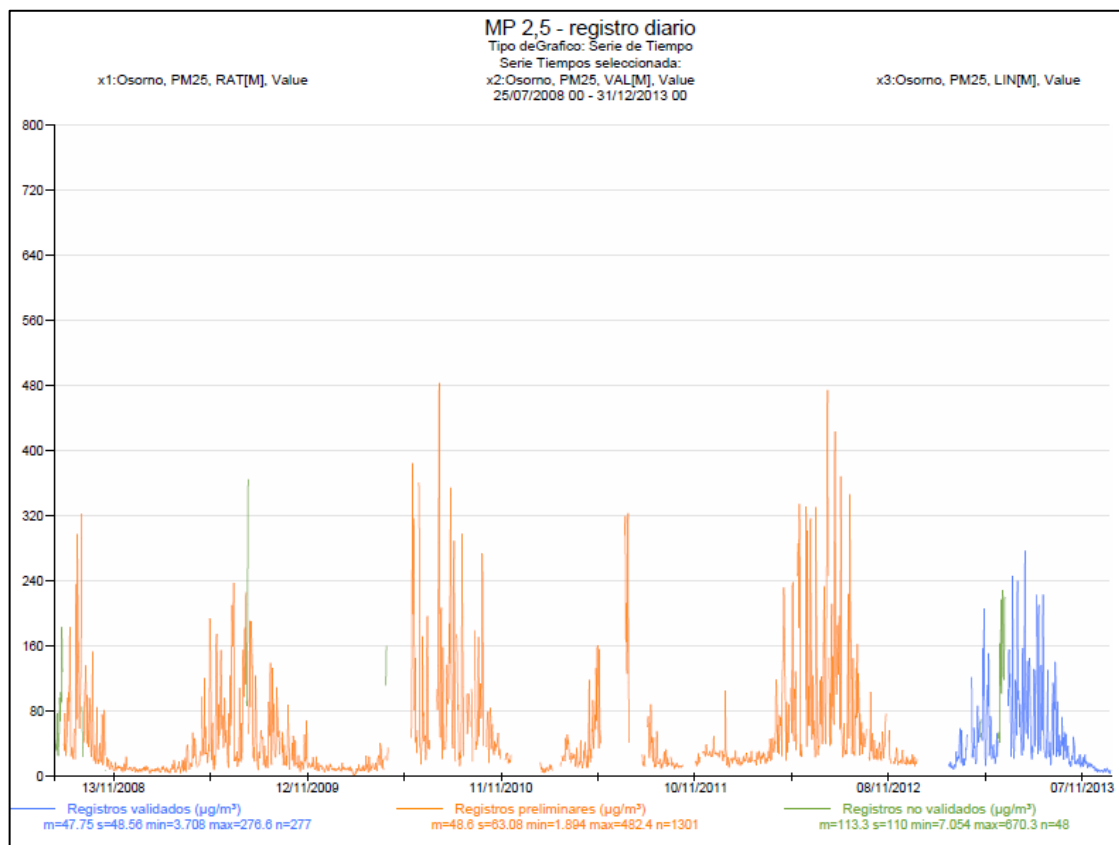
Universidad de Chile. (2016). Informe País: *Estado del Medio Ambiente en Chile, Comparación 1999-2015*. Santiago, Chile: Autor.

10 ANEXOS

10.1 Registro de Mediciones de Concentración de MP_{2,5} Periodo 2008-2013

A continuación, se presenta el gráfico de concentraciones diarias de MP_{2,5} en Osorno, registro correspondiente al periodo comprendido entre los años 2008-2013, de acuerdo a mediciones obtenidas en la Estación de Monitoreo El Alba.

Figura 7: Concentraciones Diarias de MP_{2,5} Osorno Periodo 2008-2013



Fuente: SINCA (2017).

Como se puede apreciar, la gran mayoría de los datos presentados corresponden a registros que no han sido validados por el Sistema de Información de la Calidad del Aire (SINCA). De acuerdo a indagaciones realizadas, lo anterior se debe a que la Estación de Monitoreo se encontraba en un periodo de marcha blanca, pudiendo haber estado mal

calibrado los instrumentos, lo que afecta las mediciones del contaminante. Además, se observa que existen ausencia de datos en varios lapsos de tiempo, lo que complica aún más el panorama.

Por esta razón, es que se decide utilizar como Año Base de la Evaluación el 2015, puesto que los datos previos a dicho año no representan la situación real de la Comuna de Osorno.

10.2 Concentraciones MP2,5 Osorno Año 2015

Dado el registro diario de concentraciones, es posible determinar los meses críticos en cuanto a contaminación en Osorno.

Tabla 38: Media Mensual de Concentraciones de MP_{2,5} Osorno 2015

Concentración Promedio Mensual Año 2015	
Mes	Concentración [µg/m³]
Enero	7,85
Febrero	10,08
Marzo	13,54
Abril	78,52
Mayo	57,07
Junio	79,36
Julio	61,54
Agosto	52,76
Septiembre	39,01
Octubre	24,20
Noviembre	9,79
Diciembre	5,22
PROMEDIO ANUAL	35,27
# Días Excede Norma Diaria	69

Fuente: Elaboración propia en base a datos del SINCA (2017).

De la tabla se observa que durante los meses de invierno se intensifican los niveles de contaminación, lo cual se justifica puesto que, al haber menores temperaturas, las personas

utilizan más tiempo sus calefactores a leña, aumentando la concentración de material particulado en la atmósfera. Además, se registran 69 días en los cuales se excede la norma diaria correspondiente a 50 [µg/m³].

10.3 Cálculo de Emisiones Provenientes de otras Fuentes

Para calcular las emisiones totales del contaminante, es necesario estimar aquellas que provienen de fuentes distintas a la combustión residencial.

Para ello, se obtiene el reporte de emisiones de MP2,5 proveniente de otras fuentes para el año 2015, desde el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminante, RETC, el cual corresponde a 187,88 [ton/año].

Luego, para realizar la proyección de este tipo de emisiones, se considera el promedio de la variación del Índice de Crecimiento de la Región de Los Lagos entre los años 2014 a la fecha, el cual corresponde a 0,6%.

Figura 8: Índice de Crecimiento Regional, INACER.

INDICADOR DE ACTIVIDAD ECONÓMICA REGIONAL.															
Variaciones trimestrales respecto de igual trimestre del año anterior %															
Periodo		Arica y Parinacota	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	O'Higgins	Maule	Biobío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes
2015	Ene-Mar	11,1	2,7	5,4	4,9	-0,5	2,0	12,1	1,3	-1,4	3,1	3,0	5,6	0,0	2,7
	Abr-Jun [/]	6,0	2,3	1,6	2,5	1,5	5,0	7,1	-2,1	0,8	5,9	1,6	0,3	3,7	-3,6
	Jul-Sep	7,9	-3,7	-0,6	-1,8	2,3	2,8	2,1	0,7	3,5	6,2	1,0	1,8	-2,2	-0,9
	Oct-Dic	4,8	1,5	-0,9	0,4	2,0	1,2	0,5	4,5	3,4	6,0	-1,5	1,2	0,1	4,0
2016	Ene-Mar ^{/P}	-5,6	-2,9	-1,3	9,2	0,2	3,7	2,7	8,6	4,5	6,5	-1,3	0,9	3,4	7,4
	Abr-Jun ^{/P}	-4,3	4,9	-2,5	9,5	-0,3	-1,3	2,8	6,4	2,7	3,1	0,3	-3,3	-1,4	11,3
	Jul-Sep ^{/P}	-4,9	13,4	2,8	9,1	-1,0	1,7	8,4	6,6	-0,2	3,7	0,9	-3,6	2,4	15,3
	Oct-Dic ^{/P}	-0,1	-5,1	1,9	1,2	-3,5	0,8	5,7	-5,2	-2,4	2,0	4,3	-5,0	-1,8	8,2
2017	Ene-Mar ^{/P}	5,1	4,9	-11,8	-6,0	0,2	-0,5	-4,1	-3,6	-0,7	0,2	4,3	-2,2	0,0	11,6
	Abr-Jun ^{/P}	3,4	-7,2	-3,7	-4,1	-4,4	1,1	-0,4	-3,1	0,5	1,4	5,1	8,2	-3,6	8,0
	Jul-Sep ^{/P}	7,6	-5,6	2,6	-0,3	-0,3	0,2	-1,4	-1,6	1,0	1,2	2,8	2,4	-8,4	1,2

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2017).

10.4 Proyección Viviendas en Osorno 2015-2025

Para realizar la proyección del número de viviendas en Osorno, se consideran los datos provenientes del Censo 2002, donde se descartaron los Departamentos, Viviendas móviles y de Viajeros, puesto que éstas, en general no utilizan artefactos de combustión como medio de calefacción. Posteriormente, se realiza la proyección considerando un crecimiento de viviendas del 1,84%, variación obtenida del Estudio Crecimiento de los Hogares en Chile 2002-2018, desarrollado por el MINVU.

A continuación, se presentan los valores obtenidos:

Tabla 39: Proyección Número de Viviendas en Osorno, Periodo 2015-2025

Año	Nº Viviendas
2015	49.169
2016	50.074
2017	50.995
2018	51.934
2019	52.889
2020	53.862
2021	54.853
2022	55.863
2023	56.890
2024	57.937
2025	59.003

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2002).

10.5 Distribución Viviendas por Nivel Socioeconómico

Luego de obtener la proyección del número de viviendas en la Comuna, se seleccionan sólo aquellas que efectivamente utilizan leña como combustible, porcentaje que asciende al 94,7% del total de viviendas por año.

Posteriormente, se realizan dos tipos de segmentación; la primera, de acuerdo a si cumplen o no con la reglamentación térmica vigente; la segunda, en relación al nivel socioeconómico al cual pertenecen las familias que habitan cada vivienda, para lo cual se considera la distribución obtenida en el Estudio de la Universidad Católica de Temuco, donde el 44,8% de las viviendas que consumen leña corresponde al NSE Bajo, el 49,5% y el 5,7% se adjudican a estratos Medios y Altos, respectivamente.

A continuación, se presentan los resultados de dicha distribución:

Tabla 40: Distribución Viviendas por Nivel Socioeconómico y Reglamentación Térmica

Año	N° Viviendas	N° Viviendas Consumen Leña	Viviendas sin RT	Viviendas Nuevas	Distribución Viviendas		
					NSE ALTO	NSE MEDIO	NSE BAJO
2015	49.169	46.563	46.563	-	2.654	23.049	20.860
2016	50.074	47.420	46.563	857	2.703	23.473	21.244
2017	50.995	48.292	46.563	1.729	2.753	23.905	21.635
2018	51.934	49.181	46.563	2.618	2.803	24.345	22.033
2019	52.889	50.086	46.563	3.523	2.855	24.793	22.439
2020	53.862	51.008	46.563	4.444	2.907	25.249	22.851
2021	54.853	51.946	46.563	5.383	2.961	25.713	23.272
2022	55.863	52.902	46.563	6.339	3.015	26.186	23.700
2023	56.890	53.875	46.563	7.312	3.071	26.668	24.136
2024	57.937	54.867	46.563	8.303	3.127	27.159	24.580
2025	59.003	55.876	46.563	9.313	3.185	27.659	25.033

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la UCT (2013).

10.6 Tasa Natural de Recambio de Artefactos

Dada la composición del Parque de Artefactos existentes en la Comuna, es necesario establecer el porcentaje de calefactores que han excedido su vida útil, por lo cual se asume que serán recambiados voluntariamente por artefactos nuevos. A continuación, se presenta un

ápice del Estudio de Caracterización y Consumo de Leña en Osorno, donde se analiza la antigüedad de los artefactos, datos que se obtienen a través de la aplicación de una encuesta desarrollada por la Universidad Católica de Temuco.

Tabla 41: Desglose Antigüedad de los Artefactos de Combustión Año 2015

Tipo de Artefacto		Antigüedad Artefactos [Años]										
		0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	+20
Cocina leña	Cantidad	20	29	23	17	23	18	36	26	17	21	140
	%	5%	8%	6%	5%	6%	5%	10%	7%	5%	6%	38%
Calefactor sin Templador	Cantidad	5	5	5	4	7	9	12	3	5	3	12
	%	7%	7%	7%	6%	10%	13%	17%	4%	7%	4%	17%
Calefactor con Templador	Cantidad	40	54	56	47	40	29	36	12	6	4	4
	%	12%	16%	17%	14%	12%	9%	11%	4%	2%	1%	1%
Salamandra	Cantidad	2	0	4	1	3	0	2	3	2	3	8
	%	7%	0%	14%	4%	11%	0%	7%	11%	7%	11%	29%
Chimenea	Cantidad	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	3
	%	0%	0%	0%	14%	0%	14%	14%	0%	14%	0%	43%
Brasero/Otros	Cantidad	0	2	1	2	1	0	1	1	1	0	3
	%	0%	17%	8%	17%	8%	0%	8%	8%	8%	0%	25%
N° Total de Artefactos		67	90	89	72	74	57	88	45	32	31	170
TOTAL %		8%	11%	11%	9%	9%	7%	11%	6%	4%	4%	21%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la UCT (2013).

De la tabla, se obtiene que el 21% de los calefactores existente al año 2015, poseen más de 20 años de uso, superando su vida útil.

10.7 Distribución Número de Artefactos por Nivel Socioeconómico y tipo de Vivienda

Tabla 42: Distribución Artefactos por Nivel Socioeconómico y tipo de Vivienda

	Artefactos Antiguos en Viviendas sin Reglamentación Térmica																				
	NSE ALTO						NSE MEDIO						NSE BAJO								
	N° de Artefactos						N° de Artefactos						N° de Artefactos								
Año	Cocina	Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/ Otros	Cocina	Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/ Otros	Cocina	Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/ Otros
2015	1.820		383	1.111	134	69	101	15.802		3.330	9.645	1.162	597	880	14.302		3.014	8.729	1.052	540	796
2016	1.781		375	1.087	131	67	99	15.470		3.260	9.442	1.138	584	861	14.001		2.951	8.545	1.030	529	779
2017	1.743		367	1.064	128	66	97	15.138		3.190	9.239	1.114	572	843	13.701		2.887	8.362	1.008	518	763
2018	1.705		359	1.041	125	64	95	14.806		3.120	9.037	1.089	559	824	13.401		2.824	8.179	986	506	746
2019	1.667		351	1.017	123	63	93	14.475		3.050	8.834	1.065	547	806	13.100		2.761	7.996	964	495	729
2020	1.629		343	994	120	62	91	14.143		2.980	8.632	1.040	534	787	12.800		2.697	7.812	942	483	713
2021	1.590		335	971	117	60	89	13.811		2.910	8.429	1.016	522	769	12.500		2.634	7.629	919	472	696
2022	1.552		327	947	114	59	86	13.479		2.841	8.227	992	509	750	12.199		2.571	7.446	897	461	679
2023	1.514		319	924	111	57	84	13.147		2.771	8.024	967	497	732	11.899		2.508	7.262	875	449	662
2024	1.476		311	901	109	56	82	12.815		2.701	7.822	943	484	713	11.599		2.444	7.079	853	438	646
2025	1.438		303	877	106	54	80	12.484		2.631	7.619	918	472	695	11.298		2.381	6.896	831	427	629

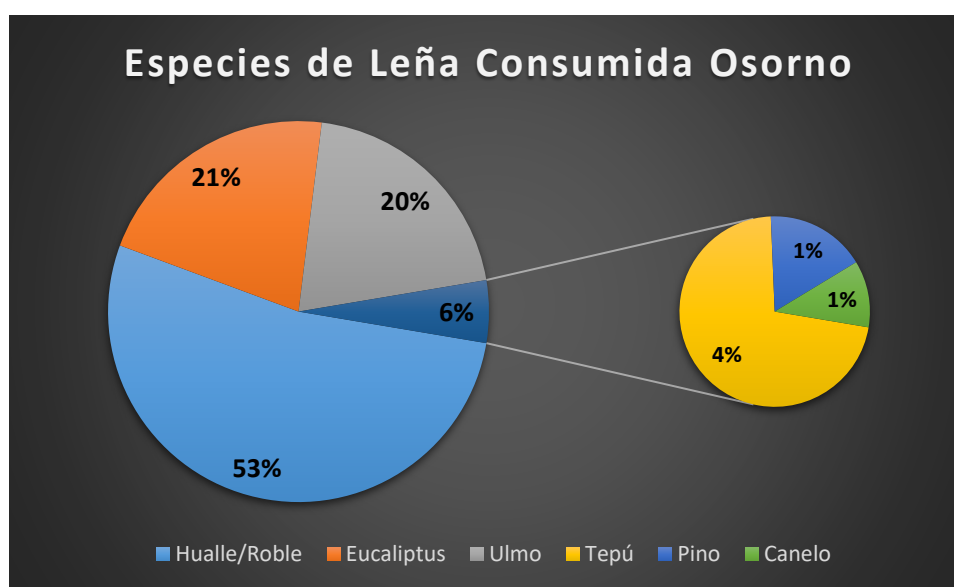
Año	Nuevos Artefactos en Viviendas con RT			Artefactos Nuevos Recambiados en Viviendas sin RT		
	NSE ALTO	NSE MEDIO	NSE BAJO	NSE ALTO	NSE MEDIO	NSE BAJO
	N° de Artefactos			N° de Artefactos		
	Leña Eficiente	Leña Eficiente	Leña Eficiente	Leña Eficiente	Leña Eficiente	Leña Eficiente
2015	-	-	-	-	-	-
2016	67	578	523	76	660	597
2017	134	1.167	1.056	152	1.319	1.194
2018	203	1.766	1.599	228	1.979	1.791
2019	274	2.377	2.151	304	2.639	2.388
2020	345	2.999	2.714	380	3.299	2.985
2021	418	3.632	3.287	456	3.958	3.583
2022	492	4.277	3.871	532	4.618	4.180
2023	568	4.933	4.465	608	5.278	4.777
2024	645	5.602	5.070	684	5.938	5.374
2025	724	6.283	5.687	760	6.597	5.971

Fuente: Elaboración propia.

10.8 Características de la Leña Consumida

A continuación, se presenta la gráfica con el consumo de leña en Osorno por especie, de acuerdo al Estudio realizado por la Universidad Católica de Temuco.

Gráfico 19: Leña Consumida en Osorno



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la UCT (2013).

Como se puede apreciar, la población de la comuna de Osorno presenta una preferencia mayor de consumo de leña de la especie Hualle o Roble, seguida del Eucaliptus Regnans y el Ulmo, siendo el Tepú, Pino Oregón y Canelo Insigne, especies consumidas en una menor proporción.

En cuanto a la densidad de cada especie, ésta se determina en base al nivel de humedad presente en la leña, dónde, a mayor humedad de ésta, mayor será su densidad.

Respecto al Poder Calorífico de cada especie, ésta se relaciona de forma indirectamente proporcional, es decir, a mayor humedad, menor será el poder calorífico de un Kg de leña. A continuación, se presenta el desglose por especie:

Tabla 43: Poder Calorífico de cada Especie de Leña Consumida

Especie	Poder Calorífico [Kcal/Kg]
	Leña Seca
Hualle/Roble	4.676
Eucaliptus	4.531
Ulmo	5.144
Pino	4.658
Canelo	3.741
Tepú	4.208
Poder Calorífico Promedio Leña SECA	4.729

Poder Calorífico Promedio [Kcal/Kg]
Leña Húmeda
3.666

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del MINAGRI (2010), INTI CITEMA (s.f.).

Cabe destacar que el cálculo correspondiente al Poder Calorífico de la leña Húmeda se especifica en el capítulo Metodología 5.1.1.4.

10.9 Variación Kg de Leña Consumida

Debido al aumento porcentual del consumo de leña seca en función de una disminución de la húmeda, se obtienen variaciones en cuanto a los kilos de leña consumidos por las viviendas, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 44: Leña Consumida, Energía y Demanda de Calefacción Viviendas sin Reglamentación Térmica y con Artefactos Antiguos, por NSE

M3 Leña Consumida	Vivienda sin RT con Artefacto Antiguo											
	NSE ALTO				NSE MEDIO				NSE BAJO			
	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]
12,7	317	7.407	28.655.133	12.966.448	317	7.407	28.655.133	12.966.448	317	7.407	28.655.133	12.966.448
12,4	310	7.254	28.061.330	12.966.448	457	7.062	28.051.710	12.962.003	428	7.100	28.053.634	12.962.892
12,2	304	7.110	27.507.104	12.966.448	591	6.735	27.488.244	12.957.558	534	6.810	27.492.016	12.959.336
12,0	299	6.976	26.988.875	12.966.448	721	6.424	26.961.118	12.953.112	637	6.534	26.966.670	12.955.779
11,7	293	6.851	26.503.480	12.966.448	846	6.127	26.467.137	12.948.667	736	6.272	26.474.405	12.952.223
11,5	288	6.733	26.048.117	12.966.448	968	5.844	26.003.468	12.944.222	832	6.022	26.012.398	12.948.667
11,4	283	6.623	25.620.293	12.966.448	1.086	5.574	25.567.595	12.939.777	925	5.783	25.578.134	12.945.111
11,2	279	6.518	25.217.785	12.966.448	1.200	5.314	25.157.269	12.935.332	1.016	5.555	25.169.372	12.941.555
11,0	275	6.420	24.838.601	12.966.448	1.312	5.065	24.770.480	12.930.887	1.104	5.336	24.784.104	12.937.999
10,8	271	6.328	24.480.952	12.966.448	1.421	4.825	24.405.420	12.926.442	1.191	5.125	24.420.526	12.934.443
10,7	267	6.241	24.143.230	12.966.448	1.527	4.593	24.060.463	12.921.996	1.275	4.923	24.077.017	12.930.887

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45: Leña Consumida, Energía y Demanda de Calefacción Viviendas sin Reglamentación Térmica y con Artefactos Nuevos, por NSE

M3 Leña Consumida	Vivienda sin RT con Artefacto Nuevo											
	NSE ALTO				NSE MEDIO				NSE BAJO			
	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Antigua [Kcal]
8,2	205	4.788	18.523.497	12.966.448	205	4.788	18.523.497	12.966.448	205	4.788	18.523.497	12.966.448
8,2					302	4.662	18.517.147	12.962.003	282	4.687	18.518.417	12.962.892
8,2					398	4.535	18.510.796	12.957.557	360	4.586	18.513.336	12.959.335
8,2					495	4.409	18.504.447	12.953.113	437	4.485	18.508.257	12.955.780
8,2					592	4.282	18.498.096	12.948.667	514	4.384	18.503.177	12.952.224
8,2					688	4.156	18.491.746	12.944.222	592	4.282	18.498.096	12.948.667
8,2					785	4.030	18.485.396	12.939.777	669	4.181	18.493.016	12.945.111
8,2					882	3.903	18.479.046	12.935.332	746	4.080	18.487.936	12.941.555
8,2					978	3.777	18.472.696	12.930.887	824	3.979	18.482.856	12.937.999
8,2					1.075	3.650	18.466.345	12.926.441	901	3.878	18.477.775	12.934.443
8,2					1.172	3.524	18.459.995	12.921.997	978	3.777	18.472.696	12.930.887

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Leña Consumida, Energía y Demanda de Calefacción Viviendas con Reglamentación Térmica y con Artefactos Antiguos, por NSE

M3 Leña Consumida	Vivienda con RT con Artefacto Nuevo											
	NSE ALTO				NSE MEDIO				NSE BAJO			
	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Reacondicionada[Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Reacondicionada[Kcal]	Leña Seca Consumida por Artefacto	Leña Húmeda Consumida por Artefacto	Energía consumida por calefactor	Demanda de Energía Por Calefacción Vivienda Reacondicionada[Kcal]
7,6	190	4.444	17.193.080	7.779.869	190	4.444	17.193.080	7.779.869	190	4.444	17.193.080	7.779.869
7,6					280	4.327	17.187.186	7.777.202	262	4.350	17.188.365	7.777.735
7,6					370	4.210	17.181.292	7.774.535	334	4.256	17.183.649	7.775.601
7,6					459	4.092	17.175.398	7.771.867	406	4.163	17.178.934	7.773.468
7,6					549	3.975	17.169.504	7.769.200	477	4.069	17.174.219	7.771.334
7,6					639	3.858	17.163.609	7.766.533	549	3.975	17.169.504	7.769.200
7,6					729	3.740	17.157.715	7.763.866	621	3.881	17.164.788	7.767.067
7,6					818	3.623	17.151.821	7.761.199	693	3.787	17.160.073	7.764.933
7,6					908	3.506	17.145.927	7.758.532	764	3.693	17.155.358	7.762.799
7,6					998	3.388	17.140.033	7.755.865	836	3.599	17.150.642	7.760.666
7,6					1.087	3.271	17.134.139	7.753.198	908	3.506	17.145.927	7.758.532

Fuente: Elaboración propia.

10.10 Cálculos para Viviendas con Reglamentación Térmica y Artefactos Antiguos

La demanda de calefacción para esta combinación de Vivienda/Artefacto se obtiene, a través de la media aritmética entre la demanda en viviendas sin reglamentación térmica con artefacto antiguo y la demanda en viviendas con reglamentación térmica con artefactos nuevos. Dicha metodología de cálculo se basa en establecer un promedio entre el peor y mejor escenario de emisiones de contaminantes.

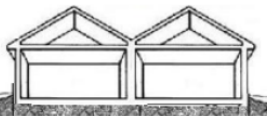
Luego, del mismo modo se obtienen los m³ de leña consumida, los cuales se segmentan en seca y húmeda, de acuerdo al porcentaje actual de consumo y se convierten en kg, por medio de la multiplicación de las densidades correspondientes.

Finalmente, la energía consumida por el calefactor corresponde a la suma de los kg consumidos por su respectivo poder calorífico.

10.11 Vivienda Tipo Promedio Osorno

Para estimar los costos asociados al reacondicionamiento térmico de una casa, se considera una vivienda tipo, la cual presenta las siguientes características.

Figura 9: Caracterización Vivienda Pareada

	Superficie	48 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera / tabiquería
		Planchas de yeso-cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	4 ventanas
	Pequeñas	2 de madera
	Medianas	2 de madera
	Grandes	0 ventanas

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, MMA (2013).

10.12 Población Comuna de Osorno 2015-2025

La proyección del número de personas de cada grupo etario se obtiene a través de datos provenientes del Instituto Nacional de Estadísticas, INE (2012). Dado que sólo se encontraban proyecciones disponibles hasta el año 2020, las estimaciones de población para cada grupo etario, entre los años 2021-2025 se realizaron por medio de una regresión cuadrática.

A continuación, se presenta la Tabla 40 con las estimaciones de la población de la Comuna de Osorno para los años considerados dentro de la evaluación.

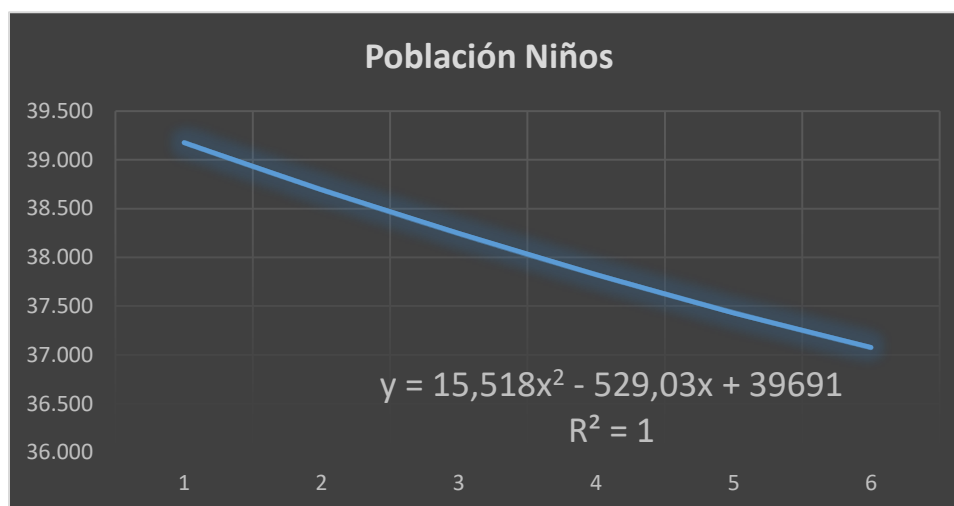
Tabla 47: Población Estimada para los años 2015-2025 Osorno

Población Comuna de Osorno				
Año	Niños	Adultos	Adultos Mayores	Total
2015	39.177	101.703	16.750	157.630
2016	38.694	101.920	17.241	157.855
2017	38.247	102.022	17.758	158.027
2018	37.822	102.032	18.308	158.162
2019	37.431	101.926	18.877	158.234
2020	37.077	101.700	19.482	158.259
2021	36.748	101.378	20.111	158.236
2022	36.452	100.943	20.768	158.163
2023	36.187	100.399	21.453	158.039
2024	35.953	99.746	22.166	157.865
2025	35.749	98.985	22.907	157.641

Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2012).

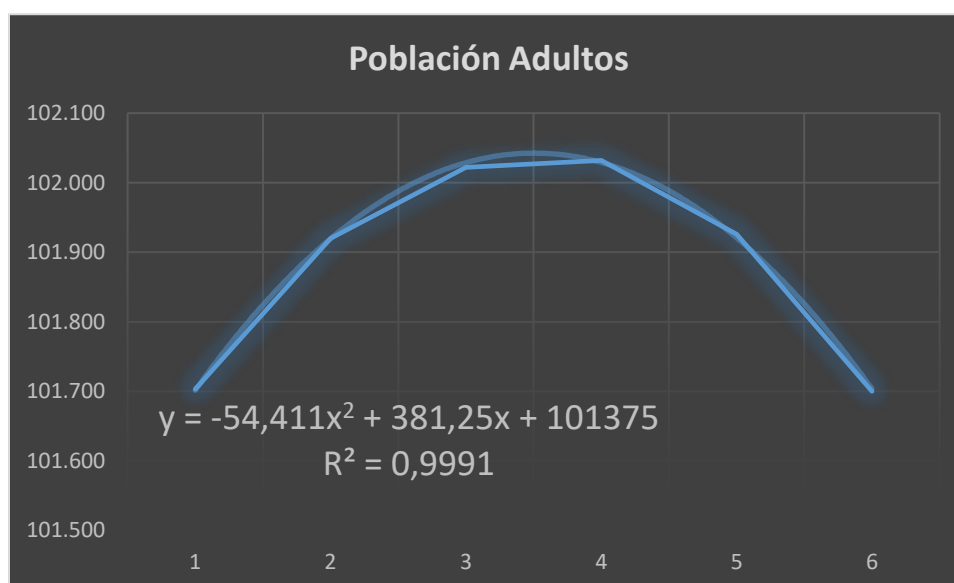
Se decide optar por el método regresión cuadrática para realizar las estimaciones, puesto que corresponde al ajuste que logra el mayor calce con los datos, obteniendo un R^2 cercano a 1, tal como se muestra en las siguientes gráficas.

Gráfico 20: Proyección Grupo Etario Niños



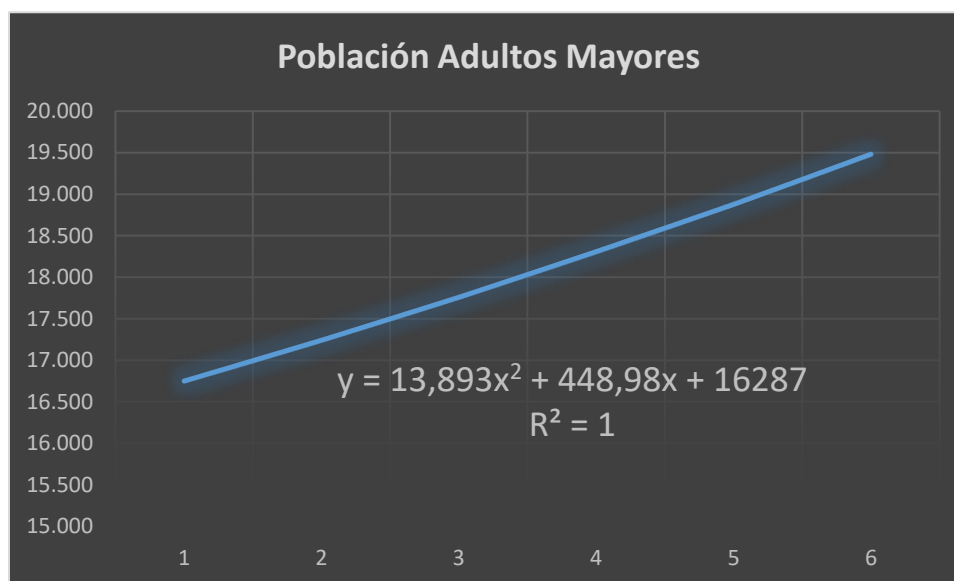
Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2012).

Gráfico 21: Proyección Grupo Etario Adultos



Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2012)

Gráfico 22: Proyección Grupo Etario Adultos Mayores



Fuente: Elaboración propia, en base a INE (2012)

Se observa el comportamiento de los grupos etarios de la Comuna, donde se destaca la función decreciente en la Población de Niños, los cuales reducen su número en un 8,7% dentro de los 10 años de evaluación. Por otro lado, se observa una tendencia creciente en el número de adultos mayores en la comuna, lo cual es lógico, debido al envejecimiento natural de la población y la mayor esperanza de vida. Finalmente, en relación a los adultos, se observa una función cóncava, que alcanza su máximo el año 2018, con 102.032 personas.

10.13 Población Potencialmente Afectada

A continuación, se presenta el desglose del número de personas por grupo etario potencialmente afectados por las externalidades de la combustión residencial, correspondientes a la población en riesgo de sufrir alguno de los efectos estudiados en la presente evaluación. Corresponde a la base para el cálculo de casos proyectados y evitados.

Tabla 48: Población Potencialmente Afectada por la Exposición al Contaminante.

Efectos	Causa	Grupo Etario Afectado	Número de Personas										
			BASE 2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	Todos	796	797	798	799	799	799	799	799	798	797	796
Admisiones Hospitalarias	Asma	Adultos	61	61	61	61	61	61	61	61	60	60	59
		Niños	16	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14
	Cardiovascular	Adultos	554	555	556	556	555	554	553	550	547	544	539
		Adultos Mayores	767	790	813	839	865	892	921	951	983	1.015	1.049
	Disritmia	Adultos Mayores	65	67	69	71	74	76	78	81	84	86	89
	Enfermedad Respiratoria Crónica	Adultos	66	66	66	66	66	66	66	66	65	65	64
		Adultos Mayores	147	152	156	161	166	171	177	183	189	195	202
	Neumonía	Adultos Mayores	321	330	340	351	361	373	385	398	411	424	439
	Respiratorias	Adultos Mayores	595	612	630	650	670	692	714	737	762	787	813
	Enfermedad Cardio Congestivas	Adultos Mayores	107	110	114	117	121	125	129	133	137	142	147
	Enfermedad Cardio Isquémicas	Adultos Mayores	51	53	54	56	58	59	61	63	65	68	70
Restricción de Actividad	Días Laborales Perdidos	Adultos	406.812	407.680	408.088	408.128	407.704	406.800	405.510	403.771	401.596	398.986	395.940
	Días con Actividad Restringida	Adultos	657.001	658.403	659.062	659.127	658.442	656.982	654.899	652.090	648.577	644.362	639.443
	Días con Actividad Restringida Leve	Adultos	793.283	794.976	795.772	795.850	795.023	793.260	790.745	787.353	783.112	778.022	772.083

Fuente: Elaboración propia en base a estudios de GreenLabUC (2011a), Cifuentes, L. (2010).

10.14 Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5}

Tabla 49: Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5} Escenario Base Osorno.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.976	7.431	839	220	262	-	24.917	188	25.105	35,27
2016	12.643	2.853	7.125	804	211	251	470	24.358	189	24.547	34,48
2017	12.128	2.737	6.834	772	203	241	944	23.858	190	24.048	33,78
2018	11.638	2.627	6.558	740	194	231	1.422	23.412	191	23.603	33,16
2019	11.173	2.522	6.296	711	187	222	1.904	23.014	192	23.206	32,60
2020	10.729	2.421	6.046	683	179	213	2.390	22.662	194	22.855	32,11
2021	10.305	2.326	5.807	656	172	205	2.880	22.351	195	22.546	31,67
2022	9.900	2.234	5.579	630	165	197	3.375	22.079	196	22.275	31,29
2023	9.511	2.146	5.359	605	159	189	3.874	21.843	197	22.040	30,96
2024	9.137	2.062	5.149	581	153	182	4.377	21.641	198	21.839	30,68
2025	8.778	1.981	4.946	558	147	174	4.884	21.469	199	21.669	30,44

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50: Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5} Alternativa 1 Compra de Leña Seca.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.976	7.431	839	220	262	-	24.917	188	25.105	35,27
2016	12.090	2.732	6.823	769	202	241	450	23.307	189	23.496	33,01
2017	11.083	2.509	6.267	705	185	221	866	21.837	190	22.027	30,94
2018	10.159	2.305	5.760	646	170	203	1.251	20.493	191	20.684	29,06
2019	9.309	2.119	5.297	592	156	186	1.605	19.264	192	19.457	27,33
2020	8.528	1.948	4.874	543	143	171	1.933	18.140	194	18.333	25,75
2021	7.810	1.793	4.488	497	132	157	2.236	17.111	195	17.306	24,31
2022	7.150	1.650	4.135	455	121	144	2.516	16.172	196	16.368	22,99
2023	6.543	1.520	3.814	416	111	133	2.777	15.314	197	15.511	21,79
2024	5.985	1.402	3.520	381	102	122	3.020	14.532	198	14.730	20,69
2025	5.473	1.293	3.252	348	94	112	3.249	13.822	199	14.021	19,70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51: Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5} Alternativa 2 Recambio de Calefactores.

Año	Emisiones TON/AÑO									EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente	Leña MMA	Pellet				
BASE 2015	13.188	2.976	7.431	839	220	262	-	-	-	24.917	188	25.105	35,27
2016	11.618	2.622	6.547	739	194	231	470	345	4	22.770	189	22.959	32,25
2017	10.235	2.310	5.768	651	171	203	944	690	8	20.980	190	21.170	29,74
2018	9.004	2.032	5.074	573	150	179	1.422	1.034	13	19.480	191	19.671	27,63
2019	7.897	1.782	4.450	502	132	157	1.904	1.379	17	18.220	192	18.412	25,87
2020	6.894	1.556	3.885	439	115	137	2.390	1.724	21	17.159	194	17.353	24,38
2021	5.978	1.349	3.368	380	100	119	2.880	2.069	25	16.268	195	16.462	23,13
2022	5.135	1.159	2.894	327	86	102	3.375	2.413	29	15.520	196	15.716	22,08
2023	4.356	983	2.455	277	73	87	3.874	2.758	33	14.896	197	15.093	21,20
2024	3.631	820	2.046	231	61	72	4.377	3.103	38	14.378	198	14.577	20,48
2025	2.953	667	1.664	188	49	59	4.884	3.448	42	13.954	199	14.154	19,88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52: Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5} Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.976	7.431	839	220	262	-	24.917	188	25.105	35,27
2016	12.457	2.811	7.019	793	208	248	469	24.005	189	24.194	33,99
2017	11.773	2.657	6.634	749	197	234	943	23.186	190	23.377	32,84
2018	11.132	2.512	6.273	708	186	221	1.420	22.454	191	22.645	31,81
2019	10.531	2.377	5.934	670	176	209	1.902	21.799	192	21.992	30,89
2020	9.966	2.249	5.616	634	166	198	2.387	21.216	194	21.410	30,08
2021	9.433	2.129	5.315	600	158	188	2.877	20.699	195	20.894	29,35
2022	8.930	2.015	5.032	568	149	178	3.370	20.242	196	20.438	28,71
2023	8.454	1.908	4.764	538	141	168	3.869	19.842	197	20.039	28,15
2024	8.004	1.806	4.510	509	134	159	4.371	19.493	198	19.691	27,66
2025	7.576	1.710	4.269	482	127	151	4.878	19.192	199	19.392	27,24

Fuente: Elaboración propia.

10.15 Casos Proyectados y Evitados

Tabla 53: Número de Casos Proyectados en Osorno en función de los Efectos estudiados.

CASOS PROYECTADOS													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	33	32	32	31	31	30	30	30	29	29
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			Niños	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Cardiovascular	CVD	Adultos	23	23	22	22	21	21	21	20	20	20
			Adultos Mayores	33	33	33	34	34	35	36	37	37	38
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
			Adultos Mayores	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	14	14	14	14	14	15	15	15	16	16
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	25	26	26	26	27	27	28	28	29	30
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	16.870	16.544	16.239	15.950	15.674	15.412	15.162	14.921	14.689	14.463
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	27.245	26.718	26.226	25.759	25.313	24.891	24.487	24.098	23.722	23.358
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	32.897	32.260	31.666	31.102	30.563	30.054	29.566	29.097	28.643	28.203

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Número de Casos Evitados con la implementación de la Alternativa 1 Consumo de Leña Seca.

CASOS EVITADOS													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	1	3	4	5	6	7	8	9	10	10
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos Niños	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	Cardiovascular	CVD	Adultos Adultos Mayores	1	2	3	4	4	5	5	6	7	7
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos Adultos Mayores	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	1	1	2	2	3	3	4	5	5	6
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Restricción de Actividad	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	723	1.391	2.008	2.577	3.101	3.582	4.021	4.421	4.781	5.104
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	1.167	2.246	3.243	4.162	5.008	5.785	6.494	7.139	7.722	8.244
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	1.409	2.712	3.915	5.026	6.047	6.985	7.841	8.620	9.324	9.954

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Número de Casos Evitados con la implementación de la Alternativa 2 Recambio de Calefactores.

CASOS EVITADOS													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	2	4	5	6	7	8	9	9	10	10
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
			Niños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	CVD	Adultos	1	3	4	4	5	6	6	6	7	7
			Adultos Mayores	2	4	6	7	8	9	11	12	12	13
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
			Adultos Mayores	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Restricción de Actividad	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	1.091	1.980	2.705	3.295	3.773	4.159	4.465	4.703	4.885	5.016
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	1.762	3.198	4.368	5.322	6.094	6.716	7.210	7.596	7.889	8.101
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	2.128	3.861	5.274	6.426	7.358	8.109	8.706	9.172	9.525	9.781

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56: Número de Casos Evitados con la implementación de la Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

CASOS EVITADOS													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	0	1	1	2	2	2	2	3	3	3
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Niños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	CVD	Adultos	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2
			Adultos Mayores	0	1	1	2	2	3	3	3	4	4
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Adultos Mayores	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	243	462	659	835	991	1.129	1.250	1.355	1.445	1.520
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	392	746	1.064	1.349	1.601	1.824	2.019	2.188	2.333	2.455
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	474	901	1.285	1.628	1.933	2.202	2.438	2.642	2.817	2.964

Fuente: Elaboración propia.

10.16 Beneficios Económicos de las Alternativas

Tabla 57: Beneficios Económicos alcanzados por la Alternativa 1 Compra de Leña Seca.

BENEFICIO ECONÓMICO UF													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	11.067	21.301	30.781	39.568	47.721	55.288	62.307	68.813	74.833	80.392
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	3	5	7	9	11	13	15	16	17	18
			Niños	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
	Cardiovascular	CVD	Adultos	48	93	134	172	207	239	268	295	319	340
			Adultos Mayores	68	135	201	266	331	396	461	527	592	659
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	6	11	17	22	28	33	39	44	50	55
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	4	7	10	13	16	18	20	22	24	26
			Adultos Mayores	8	17	25	33	41	49	58	66	74	82
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	20	40	59	78	97	116	135	155	174	193
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	37	73	109	144	180	215	250	286	322	357
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	2	5	7	9	11	13	15	18	20	22
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	520	1.001	1.446	1.856	2.233	2.579	2.895	3.183	3.443	3.675
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	245	472	681	874	1.052	1.215	1.364	1.499	1.622	1.731
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				12.035	23.172	33.496	43.071	51.960	60.213	67.872	74.974	81.546	87.615

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Beneficios Económicos alcanzados por la Alternativa 2 Recambio de Calefactores.

BENEFICIO ECONÓMICO UF													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	16.715	30.328	41.464	50.588	58.069	64.191	69.179	73.217	76.450	79.001
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	4	7	10	12	14	15	16	17	18	18
			Niños	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4
	Cardiovascular	CVD	Adultos	73	132	180	220	251	277	297	313	325	334
			Adultos Mayores	103	192	271	340	403	460	512	560	605	647
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	9	16	23	29	34	39	43	47	51	54
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	5	10	14	17	19	21	22	24	25	25
			Adultos Mayores	13	24	34	42	50	57	64	70	75	81
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	30	56	79	100	118	135	150	165	178	190
Restricción de Actividad	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	56	104	147	185	219	250	278	304	329	351
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	9	17	25	31	37	42	46	51	55	59
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	3	6	9	11	13	15	17	19	20	22
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	786	1.426	1.947	2.373	2.717	2.994	3.215	3.386	3.517	3.612
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	370	671	917	1.118	1.280	1.410	1.514	1.595	1.657	1.701
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				18.177	32.992	45.122	55.067	63.227	69.910	75.359	79.772	83.308	86.099

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Beneficios Económicos alcanzados Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

BENEFICIO ECONÓMICO UF													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	3.721	7.078	10.102	12.819	15.256	17.434	19.373	21.093	22.610	23.939
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	1	2	2	3	4	4	5	5	5	5
			Niños	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	Cardiovascular	CVD	Adultos	16	31	44	56	66	75	83	90	96	101
			Adultos Mayores	23	45	66	86	106	125	143	161	179	196
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	2	4	6	7	9	11	12	14	15	16
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	1	2	3	4	5	6	6	7	7	8
			Adultos Mayores	3	6	8	11	13	16	18	20	22	24
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	7	13	19	25	31	37	42	47	53	58
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	12	24	36	47	57	68	78	88	97	106
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	2	4	6	8	10	11	13	15	16	18
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	175	333	474	601	714	813	900	976	1.040	1.094
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	82	157	223	283	336	383	424	460	490	516
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				4.047	7.700	10.993	13.954	16.611	18.987	21.104	22.982	24.638	26.090

Fuente: Elaboración propia.

10.17 Costos de las Alternativas

Tabla 60: Costos de Implementación Alternativa 1 Compra de Leña Seca.

	COSTO ALTERNATIVA 1: SUBSIDIO A LA COMPRA DE LEÑA SECA									
	Año									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MONTO SUBSIDIO [UF]	4.792	9.648	14.574	19.575	24.659	29.829	35.092	40.453	45.918	51.493
COSTO TOTAL [UF]	4.792	9.648	14.574	19.575	24.659	29.829	35.092	40.453	45.918	51.493

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: Costos de Implementación Alternativa 2 Recambio de Calefactores.

	COSTO ALTERNATIVA 2: SUBSIDIO AL RECAMBIO DE CALEFACTORES									
	Año									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MONTO SUBSIDIO [UF]	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124	37.124
COPAGO [UF]	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665	12.665
COSTO TOTAL [UF]	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788	49.788

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62: Costos de Implementación Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas.

	COSTO ALTERNATIVA 3: SUBSIDIO AL REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO VIVIENDAS									
	Año									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MONTO SUBSIDIO [UF]	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737	637.737
COPAGO [UF]	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085
COSTO TOTAL [UF]	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822	639.822

Fuente: Elaboración propia.

10.18 Análisis de Sensibilidad: Emisiones y Concentraciones de MP_{2,5} con Buena Operación de Artefactos

Tabla 63: Emisiones y Concentraciones MP_{2,5} Escenario Base con Buena Operación.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.220	3.508	839	220	262	-	20.237	188	20.425	35,27
2016	12.643	2.128	3.363	804	211	251	22	19.423	189	19.612	27,55
2017	12.128	2.041	3.226	772	203	241	44	18.654	190	18.845	26,47
2018	11.638	1.959	3.096	740	194	231	66	17.926	191	18.117	25,45
2019	11.173	1.880	2.972	711	187	222	89	17.234	192	17.427	24,48
2020	10.729	1.806	2.854	683	179	213	112	16.576	194	16.769	23,56
2021	10.305	1.734	2.741	656	172	205	134	15.948	195	16.143	22,68
2022	9.900	1.666	2.634	630	165	197	158	15.349	196	15.545	21,84
2023	9.511	1.601	2.530	605	159	189	181	14.776	197	14.973	21,03
2024	9.137	1.538	2.431	581	153	182	204	14.226	198	14.424	20,26
2025	8.778	1.477	2.335	558	147	174	228	13.698	199	13.897	19,52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64: Emisiones y Concentraciones MP_{2,5} Alternativa 1 Compra de Leña Seca, con Buena Operación.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.220	3.508	839	220	262	-	20.237	188	20.425	35,27
2016	12.090	2.035	3.216	769	202	241	21	18.574	189	18.763	26,36
2017	11.083	1.865	2.948	705	185	221	40	17.049	190	17.239	24,22
2018	10.159	1.710	2.702	646	170	203	58	15.648	191	15.839	22,25
2019	9.309	1.567	2.476	592	156	186	74	14.361	192	14.553	20,44
2020	8.528	1.435	2.269	543	143	171	89	13.178	194	13.372	18,78
2021	7.810	1.314	2.078	497	132	157	103	12.091	195	12.285	17,26
2022	7.150	1.203	1.902	455	121	144	115	11.091	196	11.287	15,86
2023	6.543	1.101	1.741	416	111	133	127	10.172	197	10.369	14,57
2024	5.985	1.007	1.592	381	102	122	137	9.327	198	9.525	13,38
2025	5.473	921	1.456	348	94	112	147	8.550	199	8.750	12,29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65: Emisiones y Concentraciones MP_{2,5} Alternativa 2 Recambio de Calefactores, con Buena Operación.

Año	Emisiones TON/AÑO									EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente	Leña MMA	Pellet				
BASE 2015	13.188	2.220	3.508	839	220	262	-	-	-	20.237	188	20.425	35,27
2016	11.618	1.955	3.091	739	194	231	22	16	4	17.871	189	18.060	25,37
2017	10.235	1.723	2.723	651	171	203	44	32	8	15.791	190	15.981	22,45
2018	9.004	1.515	2.395	573	150	179	66	48	13	13.943	191	14.135	19,86
2019	7.897	1.329	2.101	502	132	157	89	64	17	12.288	192	12.480	17,53
2020	6.894	1.160	1.834	439	115	137	112	80	21	10.791	194	10.985	15,43
2021	5.978	1.006	1.590	380	100	119	134	97	25	9.429	195	9.623	13,52
2022	5.135	864	1.366	327	86	102	158	113	29	8.180	196	8.376	11,77
2023	4.356	733	1.159	277	73	87	181	129	33	7.028	197	7.225	10,15
2024	3.631	611	966	231	61	72	204	145	38	5.959	198	6.158	8,65
2025	2.953	497	786	188	49	59	228	161	42	4.963	199	5.162	7,25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66: Emisiones y Concentraciones MP_{2,5} Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, con Buena Operación.

Año	Emisiones TON/AÑO							EMISIONES RESIDENCIALES	EMISIONES OTRAS FUENTES	EMISIONES TOTALES MP _{2,5} [TON/AÑO]	CONCENTRACIÓN MP _{2,5} [µg/m ³]
	Cocina Leña	Calefactor sin Templador	Calefactor con Templador	Salamandra	Chimeneas	Braseros/Otros	Leña Eficiente				
BASE 2015	13.188	2.220	3.508	839	220	262	-	20.237	188	20.425	35,27
2016	12.457	2.096	3.314	793	208	248	22	19.137	189	19.326	27,15
2017	11.773	1.981	3.132	749	197	234	44	18.110	190	18.300	25,71
2018	11.132	1.874	2.961	708	186	221	66	17.149	191	17.341	24,36
2019	10.531	1.772	2.802	670	176	209	89	16.249	192	16.442	23,10
2020	9.966	1.677	2.651	634	166	198	111	15.404	194	15.598	21,91
2021	9.433	1.588	2.509	600	158	188	134	14.609	195	14.804	20,80
2022	8.930	1.503	2.376	568	149	178	157	13.861	196	14.056	19,75
2023	8.454	1.423	2.249	538	141	168	181	13.154	197	13.351	18,76
2024	8.004	1.347	2.129	509	134	159	204	12.486	198	12.684	17,82
2025	7.576	1.275	2.015	482	127	151	228	11.853	199	12.053	16,93

Fuente: Elaboración propia.

10.19 Análisis de Sensibilidad: Casos Evitados con Buena Operación de Artefactos

Tabla 67: Casos Evitados Alternativa 1 Compra de Leña Seca, con Buena Operación.

Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	CASOS EVITADOS									
				Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos Niños	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Cardiovascular	CVD	Adultos	5	6	7	8	9	10	10	11	11	12
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	3	4	5	5	6	7	7	8	9	10
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	6	7	9	10	11	12	14	15	16	18
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Restricción de Actividad	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	3.975	4.685	5.341	5.947	6.504	7.014	7.479	7.902	8.282	8.623
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	6.420	7.566	8.627	9.605	10.503	11.328	12.079	12.761	13.376	13.926
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	7.751	9.135	10.416	11.597	12.682	13.677	14.585	15.408	16.151	16.815

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Casos Evitados Alternativa 2 Recambio de Calefactores, con Buena Operación.

Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	CASOS EVITADOS									
				Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	9	11	13	14	16	17	19	20	21	22
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
			Niños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	CVD	Adultos	6	8	9	10	11	12	13	14	14	15
			Adultos Mayores	9	11	13	16	18	20	22	25	27	29
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
			Adultos Mayores	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	7	9	10	12	14	16	17	19	21	23
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	4.459	5.550	6.514	7.372	8.140	8.834	9.461	10.030	10.547	11.017
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	7.201	8.963	10.520	11.906	13.147	14.267	15.279	16.199	17.034	17.793
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	8.694	10.822	12.703	14.376	15.874	17.226	18.449	19.559	20.567	21.484

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69: Casos Evitados Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, con Buena Operación.

CASOS EVITADOS													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Niños	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cardiovascular	CVD	Adultos	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9
			Adultos Mayores	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Adultos Mayores	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	3.588	3.954	4.308	4.649	4.977	5.292	5.594	5.883	6.158	6.418
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	5.795	6.386	6.958	7.509	8.038	8.547	9.035	9.501	9.945	10.366
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	6.997	7.711	8.401	9.066	9.705	10.320	10.909	11.471	12.007	12.516

Fuente: Elaboración propia.

10.20 Análisis de Sensibilidad: Beneficios Económicos con Buena Operación de Artefactos

Tabla 70: Beneficios Económicos Alternativa 1 Compra de Leña Seca, con Buena Operación.

BENEFICIO ECONÓMICO UF													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	60.884	71.757	81.882	91.304	100.084	108.267	115.893	123.003	129.629	135.806
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	14	17	19	21	24	25	27	29	30	31
			Niños	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7
	Cardiovascular	CVD	Adultos	265	312	356	396	433	467	498	526	552	575
			Adultos Mayores	375	455	534	614	695	776	858	941	1.026	1.113
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	32	38	45	52	58	65	72	79	86	94
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	20	24	27	30	33	35	38	40	42	43
			Adultos Mayores	47	57	67	77	87	97	107	117	128	139
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	110	134	157	180	204	228	252	276	301	327
	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	204	247	290	333	377	421	466	511	557	604
Restricción de Actividad	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	34	41	48	56	63	70	78	85	93	101
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	13	15	18	20	23	26	29	31	34	37
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	2.862	3.373	3.846	4.282	4.683	5.050	5.385	5.689	5.963	6.209
	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	1.348	1.589	1.812	2.017	2.206	2.379	2.537	2.680	2.809	2.924
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				66.210	78.061	89.105	99.388	108.974	117.912	126.246	134.015	141.258	148.008

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71: Beneficios Económicos Alternativa 2 Recambio de Calefactores, con Buena Operación.

Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	BENEFICIO ECONÓMICO UF									
				Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	68.290	85.013	99.858	113.180	125.273	136.354	146.596	156.134	165.078	173.517
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	16	20	24	27	29	32	34	36	38	40
			Niños	4	5	5	6	7	7	8	8	8	9
	Cardiovascular	CVD	Adultos	297	370	434	491	542	589	630	668	703	734
			Adultos Mayores	421	539	652	761	870	977	1.085	1.195	1.307	1.422
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	35	45	55	64	73	82	91	101	110	120
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	22	28	33	37	41	45	48	51	53	56
			Adultos Mayores	52	67	81	95	108	122	135	149	163	177
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	123	158	191	224	255	287	319	351	384	417
Restricción de Actividad	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	228	292	354	413	472	530	589	649	709	772
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	38	49	59	69	79	89	98	108	119	129
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	14	18	22	25	29	33	36	40	44	47
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	3.210	3.996	4.690	5.308	5.861	6.360	6.812	7.222	7.594	7.933
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	1.512	1.882	2.209	2.500	2.761	2.996	3.209	3.402	3.577	3.737
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				74.265	92.482	108.667	123.201	136.400	148.502	159.690	170.113	179.887	189.108

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72: Beneficios Económicos Alternativa 3 Reacondicionamiento Térmico de las Viviendas, con Buena Operación.

BENEFICIO ECONÓMICO UF													
Efectos	Causa	Sigla	Grupo Etario Afectado	Año									
				2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad Prematura	Todas	-	Todos	54.962	60.574	66.045	71.379	76.590	81.689	86.682	91.575	96.374	101.085
Admisiones Hospitalarias	Asma	ASTH	Adultos	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23
			Niños	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5
	Cardiovascular	CVD	Adultos	239	263	287	310	332	353	373	392	410	428
			Adultos Mayores	338	384	431	480	532	585	642	701	763	828
	Disritmia	DYS	Adultos Mayores	28	32	36	40	45	49	54	59	64	70
	Enfermedad Respiratoria Crónica	CLD	Adultos	18	20	22	23	25	27	28	30	31	32
			Adultos Mayores	42	48	54	60	66	73	80	87	95	103
	Neumonía	PNEU	Adultos Mayores	99	113	127	141	156	172	188	206	224	243
Restricción de Actividad	Respiratorias	RSP	Adultos Mayores	184	208	234	261	289	318	348	380	414	450
	Enfermedad Cardio Congestivas	CHF	Adultos Mayores	31	35	39	44	48	53	58	64	69	75
	Enfermedad Cardio Isquémicas	IHD	Adultos Mayores	11	13	14	16	18	20	21	23	25	28
	Días Laborales Perdidos	WLD	Adultos	2.584	2.847	3.102	3.348	3.583	3.810	4.028	4.236	4.433	4.621
Restricción de Actividad	Días con Actividad Restringida	RAD	Adultos	1.217	1.341	1.461	1.577	1.688	1.795	1.897	1.995	2.088	2.177
	Días con Actividad Restringida Leve	MRAD	Adultos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL UF				59.771	65.896	71.872	77.698	83.394	88.967	94.424	99.773	105.020	110.168

Fuente: Elaboración propia.