

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA PROVINCIA DE QUILLOTA Y LAS COMUNAS DE CATEMU, PANQUEHUE Y LLAY LLAY

Enero de 2022

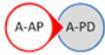
Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como planes de descontaminación y/o prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y en el reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación (D.S. N°39/2012 del Ministerio del Medio Ambiente), se requiere de un Análisis de Impacto Económico y Social (AGIES) de la propuesta regulatoria, que sirva como apoyo a la participación ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS). Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de un Plan de Prevención y/o Descontaminación, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

- AGIES del Anteproyecto (A-AP), para apoyar el proceso de participación ciudadana,
- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de participación ciudadana. Para apoyar al CMS y CC en la toma de decisión.

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana (PAC), el Consejo Consultivo (CC) y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, por lo cual no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo



corresponden a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión. Otros antecedentes corresponden por ejemplo a antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde a una evaluación de Costos y Beneficios para el Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para la provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay.

Figura 1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

Este análisis evalúa el impacto en la calidad del aire de las medidas propuestas y estima los beneficios valorizables producto de la reducción de casos de mortalidad y morbilidad en la población. También se estiman los costos asociados a las medidas propuestas.

Los resultados presentados corresponden a las medidas definidas a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, tales como Participación Ciudadana, Consejos Consultivos o Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.



Resumen

El presente documento muestra los resultados del AGIES del Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua. Este tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas.

El D.S. N°107/2018 del MMA declaró zona saturada y latente por MP₁₀ como concentración anual y diaria, respectivamente, para la Provincia de Quillota y para las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua. Asimismo, el D.S. N°11/2021 del MMA declaró zona latente por Dióxido de Azufre SO₂ como concentración anual y de 24 horas para la comuna de Catemu. La Resolución Exenta N° 1.445 de 2021 ordena la acumulación del procedimiento de elaboración del Plan de Prevención Atmosférica por SO₂ para la comuna de Catemu al de elaboración del PPDA por MP₁₀ a la Provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua.

Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto han sido diseñadas para reducir MP₁₀ y SO₂. Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían salir del estado de saturación para la norma anual de MP₁₀ el año 2027 (Figura 2) y prevenir el estado de saturación por SO₂ (Figura 3).
- La reducción de emisiones de MP₁₀, y consecuentemente de MP_{2,5} generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad y reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud (Tabla 2). Adicionalmente, las reducciones de MP y SO₂ poseen otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas y mejoras en la vulnerabilidad ambiental de la zona, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$ 218,69 millones en valor presente¹, donde la mayoría de estos beneficios son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad.
- Los costos asociados a la implementación del Plan se estiman en US\$ 88,03 millones en valor presente.
- La implementación de este PPDA tiene una razón beneficio-costos de 2,5 (Figura 4).

Este análisis concluye que el PPDA de para la provincia de Quillota y las comunas de Catemu, Panquehue y Llay llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua, junto con incitar el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, es consistente con los compromisos del Ministerio de Medio Ambiente al aplicar instrumentos que disminuyan la contaminación y que promuevan la equidad entre sus habitantes.

¹ Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 759 CLP / Tipo cambio UF: 31.284,94 CLP.

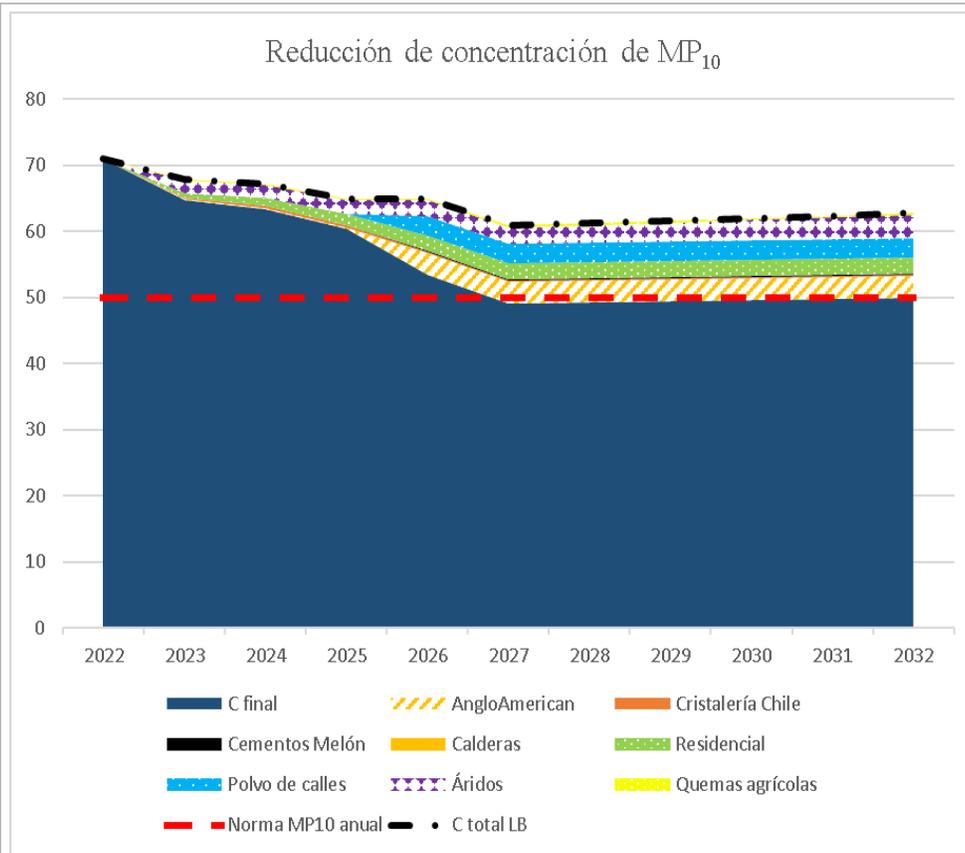
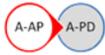


Figura 2:
Reducción de concentración anual MP₁₀

La reducción de la concentración anual para MP₁₀ alcanza el objetivo propuesto, vale decir salir del estado de saturación de la norma de 50 µg/m³ desde el año 2027 en adelante. La evaluación se realizó para la estación con las concentraciones más altas, es decir, Catemu.

El conjunto de fuentes que más inciden en la reducción corresponde a actividades de extracción de áridos, AngloAmerican, polvo de calles y sector residencial.

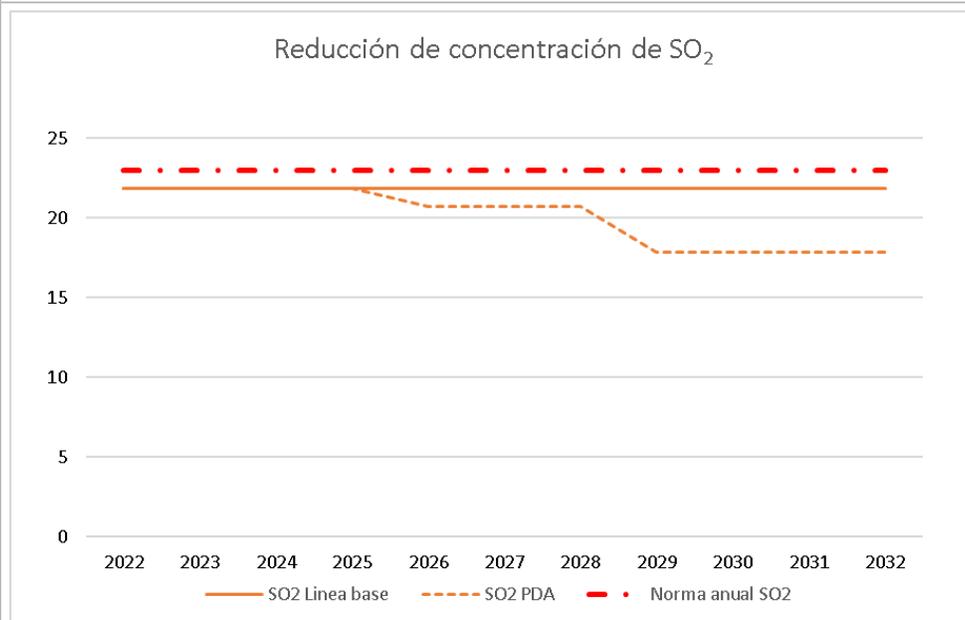
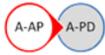


Figura 3:
Reducción de concentración anual de SO₂

La reducción de la concentración anual para SO₂ alcanza el objetivo de prevenir la superación de la norma anual de 23 ppbv. Las medidas de reducción de emisiones de SO₂ permitirían alcanzar un nivel de 17,9 ppbv de SO₂. Esta concentración se estima considerando una proporcionalidad directa entre las emisiones y concentraciones de SO₂.



| Empresa o sector | Medida | Línea Base 2032, | | Reducción (Δ) 2032, | | % Δ Conc respecto a LB empresa | % Δ Conc respecto a reducción total |
|-------------------|--|------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| | | Emisiones LB [ton/año] | Conc. LB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Δ Emisión [ton/año] | Δ Conc. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | | |
| AngloAmerican | Límite emisión | 564 | 10,51 | 220 | 3,28 | 31,21% | 25,50% |
| Cristalería Chile | Límite emisión | 39 | 1,00 | 23 | 0,25 | 25,23% | 1,97% |
| Cementos Melón | Límite emisión | 111 | 1,83 | 16 | 0,17 | 9,07% | 1,29% |
| Calderas | Límite emisión calderas | 101 | 1,31 | 0,5 | 0,01 | 1,08% | 0,11% |
| Residencial | Recambios, aislación térmica y prohibiciones | 304 | 3,43 | 211 | 2,38 | 69,41% | 18,50% |
| Polvo de calles | Barredoras | 1.117 | 11,90 | 279 | 2,98 | 25,00% | 23,14% |
| Áridos | Barrera cortaviento | 477 | 5,03 | 334 | 3,52 | 70,00% | 27,37% |
| Quemas agrícolas | Prohibición | 24 | 0,27 | 24 | 0,27 | 100,00% | 2,13% |
| Otras | NA | 1.019 | 15,67 | 0 | 0,00 | | |
| Background | NA | | 11,88 | | | | |
| Total | | 3.758 | 62,8 | 1.108 | 12,9 | 20% | 100% |

Tabla 1: Reducciones (Δ) por empresa o sector.

En total se reducen $12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} al 2032, donde los sectores que aportan en mayor medida a la reducción de emisiones son áridos, AngloAmerican, polvo de calles y sector residencial.

| Evento* | Casos evitados 2032 (Percentil 50) | Intervalo de confianza (IC) al 90% | Casos evitados 2021-2030 (Percentil 50) | Intervalo de confianza (IC) al 90% |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| Mortalidad | 66 | [42,8 - 91,1] | 481 | [228,6 - 481,4] |
| Admisiones hospitalarias | 84 | [49,3 - 114,5] | 452 | [266,4 - 617,3] |
| Visitas Salas de Emergencia | 756 | [486,3 - 1213] | 4.474 | [2.878,1 - 7150] |
| Productividad perdida (días) | 106.894 | [98496 - 112068] | 616.524 | [568.507 - 646.416] |

* Los casos evitados se deben mayoritariamente a la reducción de $\text{MP}_{2,5}$.

Tabla 2: Casos evitados Plan (2023-2032)

Número de casos evitados durante para todo el período de implementación del plan (2023-2032) atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 10%.

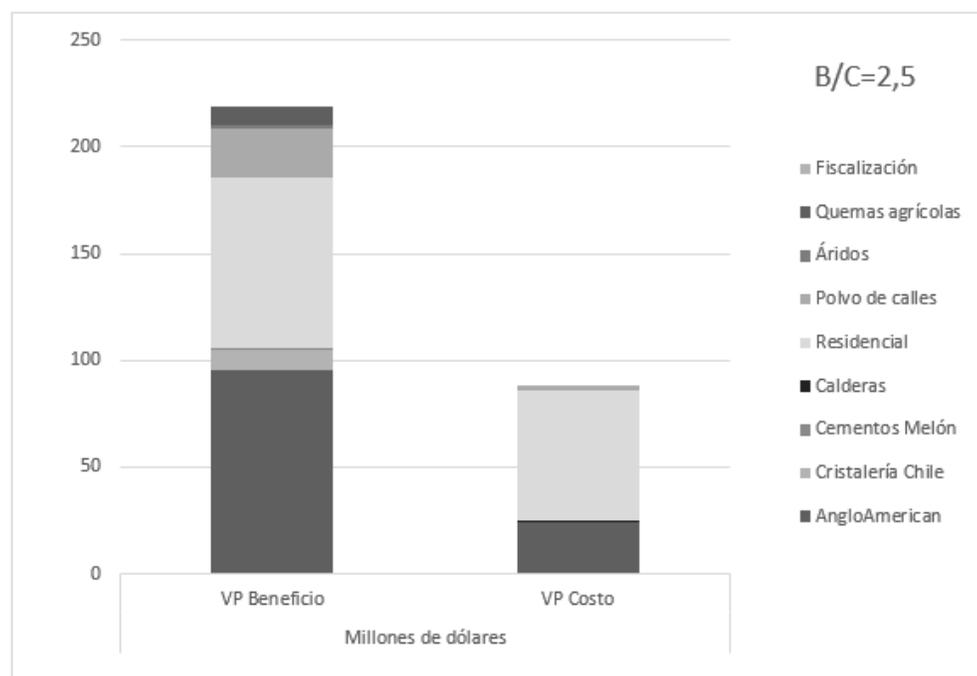
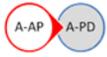


Figura 4: Beneficios y Costos del Plan

Los beneficios estimados (US\$ 218,69 millones) del PPDA son superiores a los costos estimados (US\$ 88,03 millones), con un beneficio neto de US\$ 130,66 millones y una razón beneficio-costo de 2,5.

El sector que más aporta en los beneficios es el sector minero (44%), seguido por el sector residencial (37%). Ambos representan



| | |
|--|-----------------------|
| | el 97% de los costos. |
|--|-----------------------|



Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | 3 |
| 1. ANTECEDENTES..... | 8 |
| 1.1. CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO Y DIÓXIDO DE AZUFRE | 9 |
| 1.2. INVENTARIO DE EMISIONES..... | 12 |
| 2. METODOLOGÍA DEL AGIES..... | 14 |
| 3. EVALUACIÓN DE MEDIDAS..... | 16 |
| 3.1. MEDIDAS EVALUADAS Y SUPUESTOS..... | 16 |
| 3.2. EVALUACIÓN DE COSTOS | 22 |
| 4. RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE MEDIDAS..... | 25 |
| 4.1.1. REDUCCIÓN DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES | 25 |
| 4.1.2. CASOS EVITADOS DE MORTALIDAD Y MORBILIDAD | 27 |
| 4.2. INDICADORES ECONÓMICOS | 28 |
| 5. COMENTARIOS FINALES..... | 29 |
| 6. REFERENCIAS..... | 30 |
| 7. ANEXOS..... | 32 |
| 7.1. FACTOR EMISIÓN CONCENTRACIÓN..... | 32 |
| 7.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN SALUD..... | 33 |
| 7.2.1. VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS | 35 |
| 7.2.2. COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO..... | 35 |
| 7.3. FICHAS DE MEDIDAS SECTOR RESIDENCIAL | 38 |
| 5.3.1 <i>Recambio de Calefactores</i> | 38 |
| 5.3.2 <i>Prohibición gradual de calefactores.</i> | 38 |
| 5.3.3 <i>Reacondicionamiento térmico</i> | 39 |
| 7.4. REDUCCIÓN DE EMISIONES POR CONTAMINANTE..... | 40 |
| 7.5. FICHA DEL AGIES | 41 |



1. Antecedentes

El Decreto Supremo N° 107 de 2018 del Ministerio del Medio Ambiente declaró zona saturada² por material particulado respirable MP_{10} ³ como concentración anual, zona latente por el mismo contaminante como concentración diaria para la Provincia de Quillota y para las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua. Así también, el Decreto Supremo N° 11, de 2021 del Ministerio del Medio Ambiente declaró zona latente por Dióxido de Azufre SO_2 como concentración anual y de 24 horas para la comuna de Catemu. Posteriormente, mediante Resolución exenta N° 1.105 de 2019 se dio inicio al proceso de elaboración del plan de descontaminación enfocado en el control de Material Particulado (MP_{10}) para la Provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la Provincia de San Felipe de Aconcagua y la Resolución exenta N° 1.112 de 2021 se dio inicio al proceso de elaboración del Plan de prevención Atmosférica por dióxido de azufre (SO_2) como concentración anual y de 24 horas para la comuna de Catemu.

La declaración de zona da conformidad al procedimiento y a las etapas señaladas en el artículo 44 de la ley 19.300 y en el decreto supremo N°39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente que mandatan la elaboración de un Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférico. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando o evitando superar los niveles de concentración de contaminantes respecto a los niveles máximos establecidos en la normativa vigente.

De acuerdo al punto 5 del anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica, la meta del plan es dar cumplimiento a los niveles de calidad ambiental para MP_{10} como concentración diaria y anual, y para SO_2 como concentración 24 horas y anual, en un plazo de 10 años desde la entrada en vigencia del plan, fijando una meta de $49 \mu g/m^3$ para MP_{10} y 18,17 ppbv para SO_2 . Por lo tanto, las medidas a incluir en este plan tienen como objetivo bajar la concentración de la zona a valores por bajo esos valores.

El Plan aplica a una extensión geográfica⁴ de 1.945 km^2 , que contempla a las comunas de Quillota, La Cruz, La Calera, Nogales e Hijuelas de la provincia de Quillota y a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay, pertenecientes a la provincia de San Felipe de Aconcagua, todas situadas en la zona interior de la Región de Valparaíso. Dichas comunas representan una de las zonas industriales y mineras más importantes de la región, en donde se localizan proyectos como: centrales termoeléctricas, fundición de cobre, industria cementera y de cogeneración, explotación minera, fuentes reguladas por normas de emisión (Norma de Fundición, Norma de Termoeléctrica y Norma de Incineración, Coincineración y Coprocesamiento) pero que actualmente cohabitan con actividades de índole habitacional y agrícola (DICTUC, 2019).

² Zona Saturada: Aquella en la que una o más normas de calidad ambiental se encuentra superada.

³ La normativa para MP_{10} corresponde al D.S. 59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece una concentración anual máxima permitida de $50 \text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$ y una concentración diaria de $150 \text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$.

⁴ <http://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php>

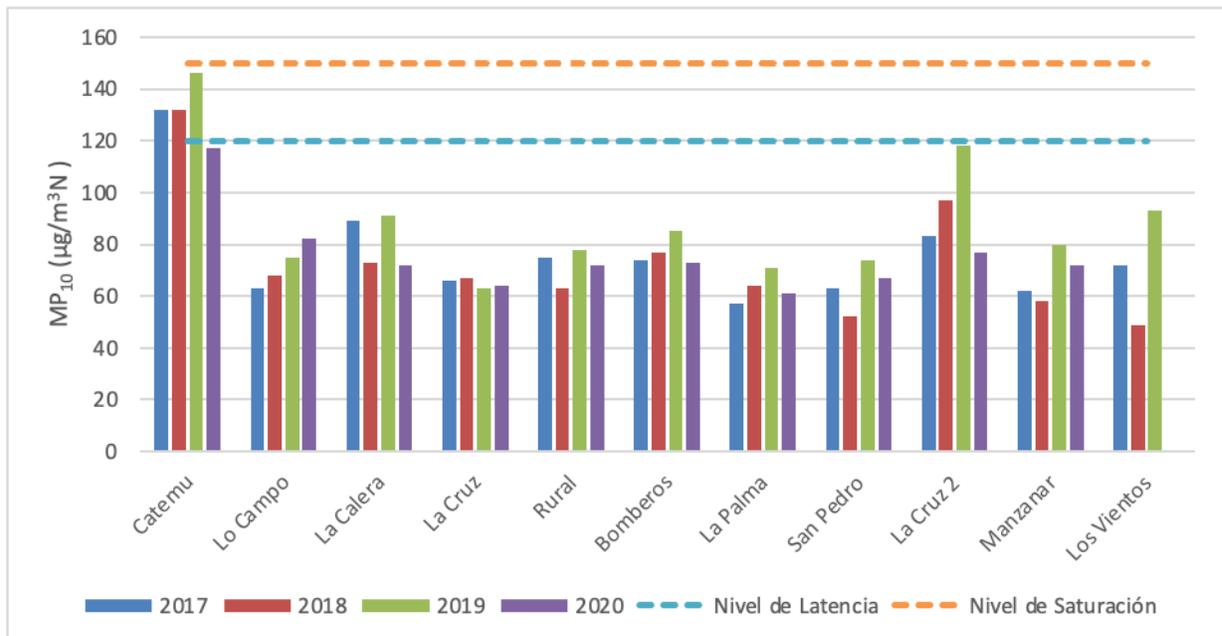


La población total de la zona del Plan de acuerdo al Censo 2017 es de 249.156 habitantes, los cuales serán directamente beneficiados por la aplicación del PDA.

1.1. Concentraciones de Material Particulado y Dióxido de Azufre

A continuación, se presentan las concentraciones observadas en las estaciones de monitoreo de la zona, según la información detallada en el Anteproyecto. La Figura 5 presenta los datos de concentración de 24 horas de MP₁₀ monitoreados en el periodo 2017-2020 en las estaciones de Catemu, Lo Campo, La Calera, La Cruz, Rural, Bomberos, La Palma, San Pedro, La Cruz 2, Manzanar y Los Vientos. Se observa que la estación Catemu se encuentra en estado de latencia los años 2017, 2018 y 2019, sobrepasando en un 10%, 10% y 21,7% el límite de la latencia. El resto de las estaciones presentaron concentraciones por debajo de la latencia para todo el período analizado.

Figura 5: Evaluación de la norma de 24 horas para MP₁₀ con P98 durante el periodo 2017 - 2020

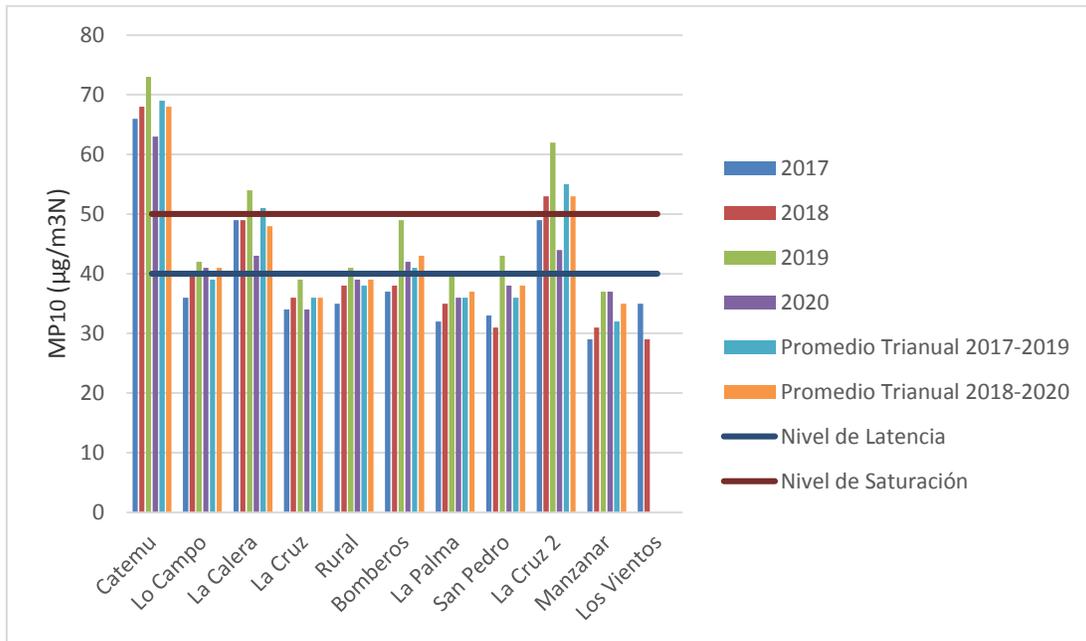


Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente.

La Figura 6 muestra los datos de concentración anual de MP₁₀ para las estaciones ya mencionadas. Se observa que las estaciones Catemu, La Calera y La Cruz 2 superan la norma anual encontrándose a un 138%, 102% y 110% respectivamente, por sobre el límite de la norma anual. Además, las estaciones Catemu y La Cruz 2, continúan superando la norma al considerar el promedio trianual (2018, 2019 y 2020), correspondiente a un 136% y 106% por sobre el límite de la norma. Para dicho periodo también se observa un estado de latencia en las estaciones: La Calera, Bomberos y Lo Campo. El resto de las estaciones no se encuentran en estado de latencia o saturación.



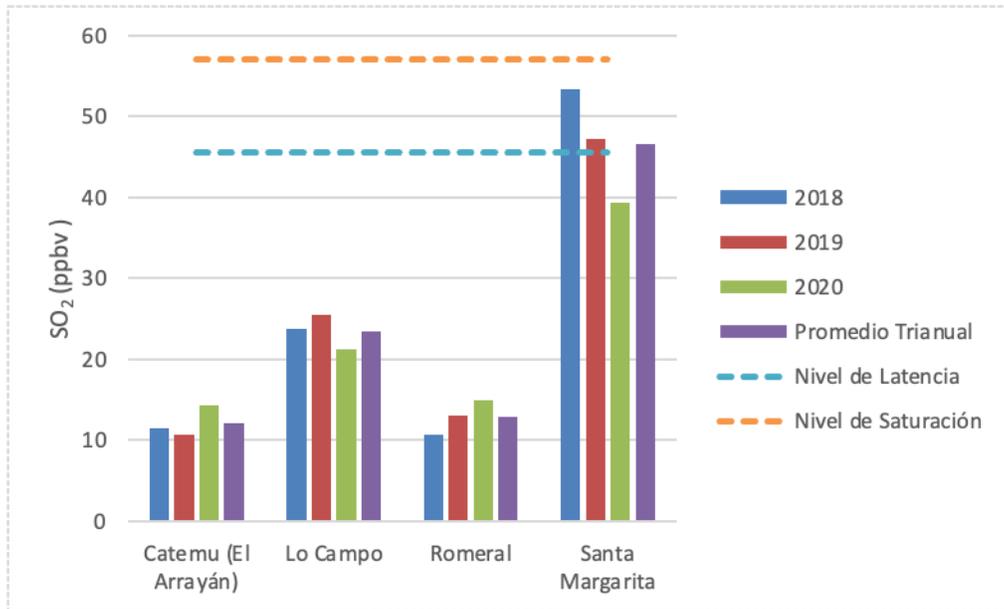
Figura 6: Evaluación de la norma anual para MP₁₀ durante el periodo 2017 – 2020



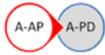
Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente.

La Figura 7 muestra la evaluación de la norma primaria de 24 horas para SO₂. Se observa que la estación Santa Margarita se encuentra en estado de latencia para la norma 24 horas considerando el promedio trianual del periodo 2018-2020, correspondiente a un 2,3% por sobre el límite.

Figura 7: Evaluación de la norma primaria de 24 horas para SO₂ durante el período 2018 - 2020

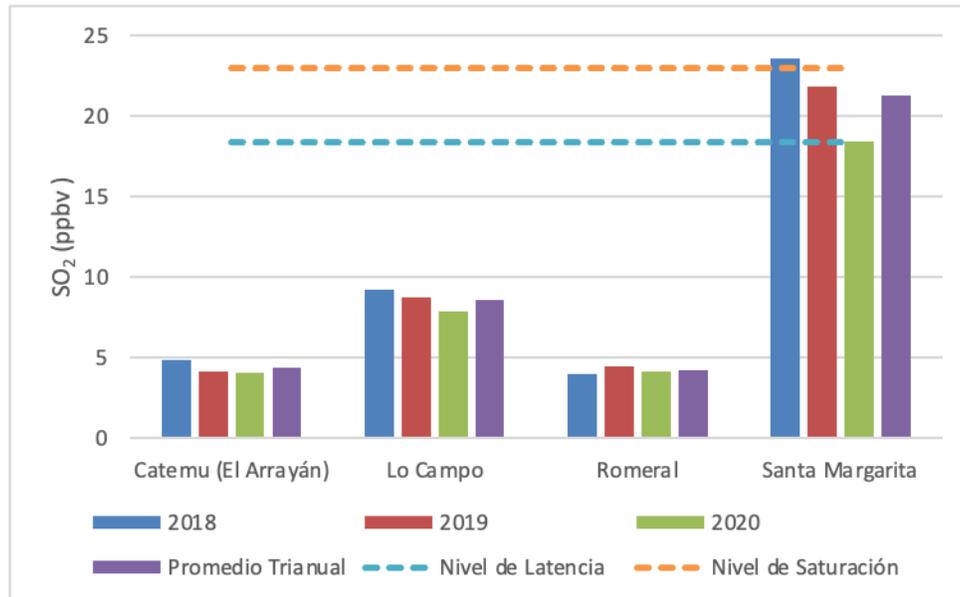


Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente.



Finalmente, la Figura 8 muestra datos de concentración anual SO_2 para las estaciones antes mencionadas. Se tiene que la estación Santa Margarita se encuentra en estado de latencia, considerando el promedio trianual del periodo 2018-2020, superando en un 15,7% el nivel de latencia (18,4 ppbv).

Figura 8 Evaluación de la norma primaria anual para SO_2 durante el período 2018-2020.



Fuente: Superintendencia del Medio Ambiente.

Dado lo anterior, el objetivo del Plan debe ser disminuir la concentración de MP_{10} para salir del estado de latencia y saturación, además de prevenir que las otras estaciones alcancen estados de latencia y saturación. Mientras que el objetivo del Plan para SO_2 es evitar su superación, como concentración 24 horas y anual en la comuna de Catemu.



1.2. Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones para el año 2019 se presenta en la Tabla 3, el cual fue elaborado por la División de Calidad del Aire del MMA y se describe también en el Anteproyecto. Debido a que el inventario detalla el material particulado grueso (MP₁₀), para efectos de la evaluación económica se realizaron supuestos para estimar su fracción fina, según el inventario desarrollado por DICTUC (2019).

Tabla 3: Inventario de Emisiones utilizado en evaluación económica (ton/año).

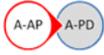
| Tipo | Fuente | Emisiones (ton/año) | | | | |
|------------------|------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | MP | MP ₁₀ | MP _{2,5} | NO _x | SO ₂ |
| Puntual | Fundición Chagres (Anglo American) | 564 | 564 | 530 | n/a | 9.552 |
| | Cristalería Chile | 39 | 39 | 34 | 579 | 347 |
| | Cementos Melón | 156 | 156 | 24 | 762 | 230 |
| | Termoeléctrica Los vientos | 1 | 1 | 1 | 21 | n/a |
| | Termoeléctrica Nehuenco | 24 | 24 | 24 | 555 | 7 |
| | Termoeléctrica San isidro | 63 | 63 | 63 | 916 | 7 |
| | Empresa Alga Marina | 12 | 12 | 11 | 26 | 113 |
| | Otras ¹ | 112 | 89 | 75 | 376 | 135 |
| SUBTOTAL | | 970 | 947 | 761 | 3.236 | 10.390 |
| Residencial | Calefactores | 261 | 261 | 248 | 81 | 5 |
| SUBTOTAL | | 261 | 261 | 248 | 81 | 5 |
| Otras Areales | Áridos | 311 | 173 | 1 | 0 | 0 |
| | Incendio Forestales | 339 | 339 | 288 | 110 | 34 |
| | Quemas Agrícolas y forestales | 12 | 12 | 11 | 3 | 0 |
| | Otras ² | 31 | 31 | 7 | 1 | 0 |
| SUBTOTAL | | 692 | 555 | 306 | 114 | 35 |
| Fugitivas | Mina Soldado | 5.621 | 1.640 | 223 | 207 | 1 |
| | Mina UVA | 92 | 24 | 6 | n/a | n/a |
| | Planta Catemu | 50 | 50 | 6 | n/a | n/a |
| | Cantera Ñilhue | 355 | 43 | 7 | n/a | n/a |
| | Polvo de Calle | 1.802 | 1.117 | 270 | n/a | n/a |
| | Otros ³ | 62 | 40 | 13 | n/a | n/a |
| SUBTOTAL | | 7.981 | 2.913 | 525 | 207 | 1 |
| Móviles | Fuera de ruta | 5 | 5 | 5 | 50 | n/a |
| | En Ruta | 106 | 106 | 103 | 3.246 | 4 |
| SUBTOTAL | | 112 | 112 | 109 | 3.296 | 4 |
| TOTAL | | 10.017 | 4.789 | 1.949 | 6.934 | 10.435 |

Fuente: Anteproyecto. Elaboración propia a partir del Estudio "Evaluación costo medidas efectivas para diseñar un Instrumento de Gestión".

¹ Emisiones año base 2019, informe "Modelación de Dispersión y Deposición de Contaminantes DIA Continuidad Operacional Fase V El Soldado" Noviembre 2020.

² Relleno Sanitario San Pedro e Incendios urbanos.

³ Hornos de supermercados, hospitales, GE de viveros, entre otros.



Las fuentes que presentan las mayores contribuciones de MP_{10} son: Mina El Soldado (34,2%), Polvo de Calles (23,3%) y Fundición Chagres (11,8%). Para $MP_{2,5}$ las principales contribuciones corresponden a las fuentes: Fundición Chagres (27,2%), Incendios Forestales (14,8%) y Polvo de Calles (13,9%)

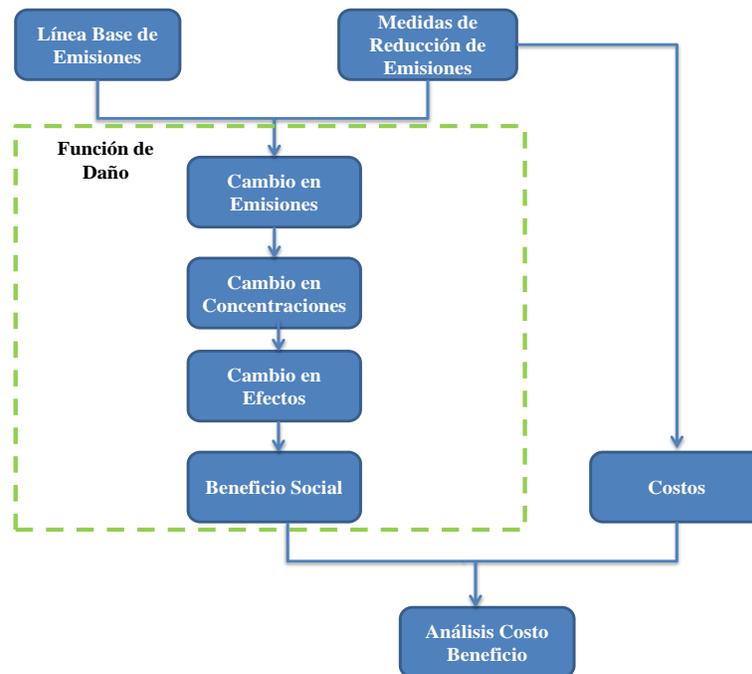
Respecto a NO_x , las mayores contribuciones son por fuentes móviles en ruta con un 46,8% seguido por las fuentes puntuales Termoeléctrica San Isidro con un 13,2% y Cementos Melón con 9,6%. Finalmente, en el caso de SO_2 , se observa que es mayoritariamente emitido por fuentes puntuales, la Fundición Chagres (Anglo American) emite el 91,5%, seguido por Cristalería Chile con un 3,3% y Cementos Melón con 2,2%.

2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, el cual es ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Hanley and Spash 1993; Layard and Glaister 1994; Boardman, Greenberg et al. 2006). La reducción de emisiones asociadas a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se pueden resumir en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado.

El AGIES se elabora utilizando una secuencia de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las emisiones de línea base con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el modelo integra una sección de emisiones, un modelo de emisión-calidad, modelo de riesgo ambiental basado en estudios epidemiológicos y finalmente un modelo de valorización de los beneficios. Paralelamente se integra la información de los costos de las medidas que pueden ser relacionados con los beneficios para completar el análisis costo-beneficio (ver Figura 9).

Figura 9. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



Fuente: Evaluación propia basado en (EPA 2000; MMA 2013)

Por una parte, los beneficios valorizados de las medidas del Plan corresponden a impactos en la salud de la población expuesta debido a la disminución de concentración ambiental de MP_{10} y SO_2 producto de la reducción de emisiones de las fuentes reguladas. Específicamente, se valoran los eventos evitados de mortalidad prematura, morbilidad, días de actividad restringida y productividad perdida.



Por otro lado, en el AGIES se incorporan los costos relacionados a la implementación de las medidas de reducción de emisiones de las fuentes emisoras.

Dentro de las limitaciones del análisis se mencionan los beneficios por reducción de MP que no fueron valorizados, tales como la mejora en visibilidad, en materiales, efectos sobre ecosistemas, disminución de gases de efecto invernadero, beneficios para la agricultura y suelos, imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, efectos en la salud en otras comunas del país y beneficios derivados de la reducción de *Black Carbon*. Esto se debe a la carencia de metodologías validadas a nivel internacional o falta de información base.

Finalmente es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisiones mediante indicadores elaborados con la metodología planteada. Sin embargo, estos indicadores no deben ser considerados como el único criterio para la aprobación de una política pública (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Esta debe tener una visión integral que incorpore otras variables tales como el riesgo de la población expuesta, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, entre otras.

En los siguientes capítulos del informe se presentan los análisis de las medidas de reducción de emisores.

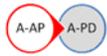
3. Evaluación de medidas

3.1. Medidas evaluadas y supuestos

Las principales medidas establecidas en el Anteproyecto se enfocan en los principales emisores con mayor aporte a las emisiones y concentración en la zona. Se establecen además restricciones a calderas y sector residencial, como mejoramiento térmico de las viviendas, y recambio de calefactores, así como prohibición de quemas agrícolas; en línea con las medidas establecidas en otros planes de descontaminación vigentes. Las medidas evaluadas y sus principales supuestos de evaluación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen de medidas evaluadas en el modelo de costo-beneficio.

| Nombre medida | Descripción | Supuestos evaluación | | | |
|--|---|--|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Límite de emisión Fundición de Chagres de Angloamerican | En base a Art.10, el establecimiento deberá cumplir los siguientes límites: | Emisiones año 2019 para MP y año 2020 para SO ₂ . D.S. N° 28/2013 MMA. Norma de emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico. | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="619 755 955 836">Año</th> <th data-bbox="955 755 1102 836">MP (ton/año)</th> <th data-bbox="1102 755 1270 836">SO₂ (ton/año)</th> </tr> </thead> </table> | | Año | MP (ton/año) | SO ₂ (ton/año) |
| | Año | | MP (ton/año) | SO ₂ (ton/año) | |
| | Antes de la Publicación del Presente decreto | | - | 14.400 | |
| Desde la publicación del presente decreto | 564 | 9.000 | | | |
| En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto | 344 | 7.650 | | | |



| Nombre medida | Descripción | Supuestos evaluación | | | | | | |
|--|---|--|--------------|---|-----|--|----|---|
| Límite de emisión Cemento Melón S.A. | En base al Art. 15, el establecimiento deberá cumplir los siguientes límites: <table border="1" data-bbox="625 358 1262 594" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>MP (ton/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Desde la publicación del presente decreto</td> <td>156</td> </tr> <tr> <td>En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto</td> <td>95</td> </tr> </tbody> </table> | Año | MP (ton/año) | Desde la publicación del presente decreto | 156 | En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto | 95 | Emisiones y reporte de actividad, año 2019. D.S. N° 29/2013 MMA, Norma de incineración y D.S. 138/2005 del MINSAL que establece obligatoriedad de declarar emisiones. Además, se considera el informe de emisiones areales de Cemento Melón S.A “Emisiones fugitivas ⁵ . Para la proyección de emisiones se asume que, dada la implementación de medidas en fuentes areales, las emisiones mensuales serán de 3,97 tonMP/mes (el inventario considera 7,58 tonMP/mes), estimado según el proporcional asociado a un factor de emisión de 24,20 gMP/tonMP. |
| Año | MP (ton/año) | | | | | | | |
| Desde la publicación del presente decreto | 156 | | | | | | | |
| En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto | 95 | | | | | | | |
| Otras obligaciones para Cemento Melón | Medidas: a) Implementación y mantención de un sistema de humectación de caminos y de la zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas. b) Implementación y mantención de un sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas. c) Control, monitoreo y registro de la operación de aspersores. d) Sistema de control de polvo en canchas e) Cierre lateral del Lado Nororiente Nave Grúas-Puente | Según informe de Ecotecnos (2020), las medidas a), c), d) y e) ya se verificaron como cumplidas, mientras que la medida b) ya no aplica debido a un cambio en el proceso. Por lo tanto, estas obligaciones forman parte de la línea base y no involucran costos y beneficios. La reducción asociada a estas se considera en la proyección de emisiones. | | | | | | |

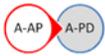
⁵ Informe Ecotecnos (2020) “Emisiones fugitivas cementos melón la calera escenario 2016-2017 y medidas de control”, disponible en https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Folio_2443-2482.pdf



| Nombre medida | Descripción | Supuestos evaluación | | | | | | |
|--|---|--|----------------------------|---|-------|--|-----|--|
| Límite de emisión Cristalerías Chile S.A. | En base a Art.19, el establecimiento deberá cumplir los siguientes límites: <table border="1" data-bbox="611 367 1276 493"> <thead> <tr> <th data-bbox="611 367 1121 444">Año</th> <th data-bbox="1121 367 1276 444">MP (ton/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="611 444 1121 493">Desde la publicación del presente decreto</td> <td data-bbox="1121 444 1276 493">16</td> </tr> </tbody> </table> | Año | MP (ton/año) | Desde la publicación del presente decreto | 16 | Línea base: Reporte SMA 2020 ⁶ El inventario considera las emisiones máximas permitidas según RCA N°022/2018. Sin embargo, las emisiones al 2021 se estiman en 22,1 ton MP10/año. Para efectos de la evaluación se considera la reducción total respecto a las emisiones máximas permitidas (escenario conservador de costos). | | |
| Año | MP (ton/año) | | | | | | | |
| Desde la publicación del presente decreto | 16 | | | | | | | |
| Límite de emisión Minera El Soldado | En base a Art.30, el establecimiento deberá cumplir los siguientes límites para año 2024: <table border="1" data-bbox="611 678 1276 886"> <thead> <tr> <th data-bbox="611 678 1121 756">Año</th> <th data-bbox="1121 678 1276 756">MP₁₀ (ton/año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="611 756 1121 805">Desde la publicación del presente decreto</td> <td data-bbox="1121 756 1276 805">1.333</td> </tr> <tr> <td data-bbox="611 805 1121 886">En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto</td> <td data-bbox="1121 805 1276 886">937</td> </tr> </tbody> </table> | Año | MP ₁₀ (ton/año) | Desde la publicación del presente decreto | 1.333 | En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto | 937 | Línea base: Considera la suma de todas las emisiones de MP ₁₀ generadas por la instalación según la DIA “Continuidad Operacional Fase V El Soldado”. La proyección de emisiones de línea base para esta fuente se reduce hasta 260 toneladas de MP ₁₀ desde el 2027 en adelante, razón por la cual la medida no tiene impacto en reducciones. |
| Año | MP ₁₀ (ton/año) | | | | | | | |
| Desde la publicación del presente decreto | 1.333 | | | | | | | |
| En el plazo de 3 años contados desde la publicación del presente decreto | 937 | | | | | | | |
| Límite de emisión Calderas nuevas y existentes | En base a Art. 4, las calderas nuevas y existentes ⁷ deberán cumplir con los siguientes límites máximos desde el inicio de su operación (nuevas) y para año 2024 (existentes): | Línea base: se considera GreenlabUC (2016). De acuerdo a la información disponible se evalúa la normativa en 6 calderas ubicadas en la zona de interés, pues solo para estas se cuenta con los datos necesarios. Solo se evalúan calderas existentes. | | | | | | |

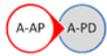
⁶ Exp DFZ-2020-2456-V-RCA de la SMA, link: <https://snifa.sma.gob.cl/Fiscalizacion/Ficha/1045373>

⁷ Art. 4 Anteproyecto. Se exceptúan de los límites máximos de emisión señalados en la Tabla las calderas que cumplan con: ser reguladas por D.S. N° 13/2011 MMA, aquellas en funcionamiento <30% de las horas en base anual, considerando encendido y apagado, y a 6 meses de la aprobación del AP, calderas nuevas y existentes con potencia <20 MWt que cogen y demuestran una eficiencia termina >80%. Se exigen de límite máximo de emisión de SO₂, aquellas calderas de potencia ≥ 300 kWt y <20 MWt que empleen combustible líquido o gaseoso con un contenido de azufre ≤50 ppm o ppmv

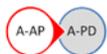


| Nombre medida | Descripción | | | | | | Supuestos evaluación | |
|--|---|--|---------------|---|---------------|--------------------------------------|---|--|
| | Potencial Térmica Nominal de la caldera | Límite máximo MP (mg/m ³ N) | | Límite máximo SO ₂ (mg/m ³ N) | | Límite máximo NO _x (ppmv) | | |
| | | Caldera Existente | Caldera nueva | Caldera Existente | Caldera nueva | Caldera Existente | Caldera nueva | |
| | ≥ 300 KWt < 1 MWt ⁸ | NA | 50 | NA | 100 | NA | 200 | |
| | ≥ 1 MWt < 20 MWt | 50 | 30 | 200 | 50 | 200 | 100 | |
| ≥ 20 MWt | 30 | 30 | 200 | 20 | 100 | 30 | | |
| Prohibición de uso de calefactores a leña | <p>Según Art. 50. Desde la entrada en vigencia del presente Decreto, se prohíbe en el sector urbano de la zona declarada: Utilizar chimeneas de hogar abierto.</p> <p>Según Art 52. A contar de 4 años desde la publicación del PDA, quedarán prohibidos en el sector urbano de la zona declarada, todos los calefactores que no cumplan con el D.S. N° 39/2011MMA que establece Norma de emisión de material particulado, para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera, y las calderas de calefacción a leña de uso domiciliario, cuando su utilización es para una casa habitación de forma individual.</p> | | | | | | <p>Se asume que al prohibir de una chimenea se incorpora de un calefactor a pellet. Se considera la prohibición al año 2026 de los calefactores que no cumplan la norma (salamandras y aparatos de combustión lenta sin templador), considerando un cumplimiento de un 80% del parque.</p> <p>Para efectos de la evaluación a prohibición se realizará posteriormente a la implementación el programa de recambio de calefactores, en el cual se priorizan aquellos calefactores más contaminantes.</p> | |
| Recambio de calefactores | <p>Según Art 53. A partir de la entrada en vigencia del PDA, la Seremi del Medio Ambiente, ejecutará anualmente un programa de recambio voluntario de calefactores o cocinas que combustionen leña que se encuentren instalados en viviendas de la zona declarada.</p> <p>Dicho programa contemplará el retiro de equipos existentes y la instalación de equipos en viviendas, considerando al menos 10.000 calefactores en el periodo de implementación del plan.</p> | | | | | | <p>Se asume el recambio de 2.500 calefactores anuales entre los años 2023 y 2026, con el fin de cumplir la meta de recambio antes de la implementación de las prohibiciones. Los 10.000 recambios realizados suponen un cambio del 86% el parque. Los 2.500 calefactores recambiados considerarán la salida en orden de calefactores más contaminantes a menos contaminantes, esto es:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chimeneas. | |

⁸ MWt: Megawatt Térmicos



| Nombre medida | Descripción | Supuestos evaluación |
|---|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Combustión lenta sin templador • Combustión lenta con templador. <p>Esto significa que, se simulan los recambios para evitar que la prohibición afecte a los regulados y cada artefacto que sería prohibido por el artículo 53, pueda ser recambiado por el Estado.</p> <p>El recambio considerará el retiro del artefacto y la instalación de un artefacto a pellet (considerando el calefactor a pellet como el escenario más restrictivo).</p> |
| Reacondicionamiento Térmico de viviendas | <p>Según Art. 59 Desde la entrada en vigencia del PDA, la SEREMI de Vivienda y Urbanismo, focalizará en la zona declarada, la entrega gradual de 16.000 subsidios especiales para el acondicionamiento térmico de viviendas existentes, dentro del plazo de 10 años.</p> | <p>Esta medida considera el reacondicionamiento de 1.600 viviendas anuales durante la vigencia del Plan (10 años).</p> <p>La medida considera que cada vivienda reacondicionada considerará a su vez el recambio del equipo de calefactor a través del programa de recambio con el fin de maximizar las reducciones de emisiones, debido a las sinergias entre ambas medidas, logrando mayores ahorros en combustible por vivienda.</p> |
| Prohibición de Quemados Agrícolas | <p>Según Art 37. Desde la publicación del PDA, se prohíbe en toda la zona sujeta al plan el uso de fuego para quemar desechos agrícolas y forestales.</p> | <p>Se asume que el cumplimiento de esta obligación será total, es decir las emisiones asociadas disminuyen en un 100% desde el primer año de aplicación.</p> |
| Barrera Cortaviento Áridos | <p>Según Art. 44. Las actividades que se realicen en la zona declarada y que impliquen procesos de extracción, molienda, chancado, harneo de áridos y su uso para mejoramiento de superficie metálica (granallado), o aquellas instalaciones que manejan áridos para hormigones, asfaltos o suelos, debe:</p> <p>f. Se deberá construir y mantener siempre en buenas condiciones una barrera cortaviento, en todo el perímetro de las plantas de áridos, el que deberá tener una altura mínima de 2,5 metros y estar constituido por un material con una porosidad certificada de 0,35.</p> | <p>Se considera la instalación de una barrera con las condiciones exigidas en el perímetro de todas las fuentes identificadas en el inventario que realicen la actividad señalada.</p> <p>La instalación de esta se realizará en el momento de entrada en vigencia de la regulación y se considera que se mantendrá funcional durante el periodo de evaluación, es decir, esta será reemplazada una vez finalizada su vital útil.</p> |



| Nombre medida | Descripción | Supuestos evaluación |
|---------------------------|---|--|
| Polvo resuspendido | Según Art. 44 La SEREMI del Medio Ambiente se coordinará con las Municipalidades de la zona sujeta al presente instrumento, para gestionar con el Gobierno Regional de Valparaíso la formulación de un plan que contenga acciones e iniciativas orientadas a la disminución del polvo de las calles. Dicho plan deberá incluir iniciativas de pavimentación, acciones de limpieza de calles y acciones de supresión de polvo en vías no pavimentadas en todas las comunas que aplica el presente decreto. | Esta medida considera el empleo de barredoras para reducir las emisiones por polvo resuspendido. Se considera que las barredoras tienen una eficiencia de 50,5% para MP10 y 25% para MP2,5, bajo una frecuencia de al menos 2 veces por semana (DICTUC, 2019). |

Fuente: Elaboración propia en base a Anteproyecto y supuestos de evaluación.

(*) Las emisiones corresponden a las emisiones del horno de cemento, los molinos y las emisiones fugitivas de las canchas de acopio.



3.2. Evaluación de costos

A continuación, en la Tabla 5, se explica la metodología empleada para la evaluación de costos.

Tabla 5. Detalle metodología de evaluación de costos

| Nombre medida | Metodología de evaluación de costos |
|--|---|
| Límite de emisión Fundición de Chagres de Angloamerican | <p>Respecto al abatimiento de SO₂, Angloamerican ingresó carta (27/09/2021), donde indica que proyecto de captura máxima de 98,5% permite fijar 2.800 toneladas anuales adicionales de azufre. El costo de inversión es de 100-130 MMUSD. Con esta información, se anualiza el costo promedio de inversión (115 MMUSD), asumiendo una vida útil de 25 años, y se estima un costo medio, que asciende a 3.213 USD/ton.</p> <p>Para la reducción de MP₁₀, se asume la implementación de un precipitador electrostático adicional, según DICTUC (2019). Este considera un aumento en la eficiencia de abatimiento de 98% a 99,96%, lo cual se traduce en una reducción potencial de 2.855 ton/año.</p> <p>Para estimar los costos se utilizan los propuestos en el estudio de medidas de reducción para la región del Bio Bio⁹, donde el costo de inversión varía entre 21.000 y 70.000 USD por m³/s, y el de operación entre 6.400 y 74.000 USD por m³/s. De acuerdo a lo declarado mensualmente por la fundición Chagres en el D.S. N°28/2013 del MMA, la chimenea de la planta de ácido tiene un caudal promedio de 43 m³/s, con lo cual, considerando un promedio del rango de valores, se estima un costo anualizado (vida útil de 25 años) para obtener un costo medio de abatimiento de 659 USD/tonMP₁₀.</p> |
| Límite de emisión Cemento Melón S.A. | <p>Se estima un costo según el proceso donde se realice el abatimiento. Se considera el costo medio del precipitador electrostático considerado para Angloamerican de 659 USD/tonMP₁₀, con un potencial de abatimiento de 99,6%. Para el proceso de molinos, se considera un costo medio de abatimiento en procesos de chancado, según el AGIES del PDA de Calama, estimado en 72.586 USD/tonMP₁₀.</p> |
| Límite de emisión Cristalerías Chile S.A. | <p>Se considera el costo medio del precipitador electrostático considerado para Angloamerican de 659 USD/tonMP₁₀.</p> |

⁹ Centro Mario Molina, 'ESTUDIO DE PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MP_{2,5} PARA LA ZONA SATURADA DE LAS COMUNAS DE CONCEPCIÓN METROPOLITANO', 2016. Anexo 1: Sistemas de Control de MP.

125 Se utiliza el valor medio entre ambos rangos como costos.



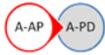
| Nombre medida | Metodología de evaluación de costos | | | | | | | | |
|--|---|--------------|----------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-------|----|-----|
| Límite de emisión Calderas existentes | <p>Se utilizan costos medios por tonelada reducida de MP₁₀, SO₂ y NO_x, provenientes del Modelo CoST de la USEPA (2010), en base al AGIES del PPDA de Concón, Quintero y Puchuncaví¹⁰.</p> <table border="1" data-bbox="745 352 1218 575"> <thead> <tr> <th data-bbox="745 352 1000 428">Contaminante</th> <th data-bbox="1000 352 1218 428">Costo (USD/tonMP₁₀)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="745 428 1000 478">NO_x</td> <td data-bbox="1000 428 1218 478">4.226</td> </tr> <tr> <td data-bbox="745 478 1000 529">SO₂</td> <td data-bbox="1000 478 1218 529">1.711</td> </tr> <tr> <td data-bbox="745 529 1000 575">MP</td> <td data-bbox="1000 529 1218 575">330</td> </tr> </tbody> </table> | Contaminante | Costo (USD/tonMP ₁₀) | NO _x | 4.226 | SO ₂ | 1.711 | MP | 330 |
| Contaminante | Costo (USD/tonMP ₁₀) | | | | | | | | |
| NO _x | 4.226 | | | | | | | | |
| SO ₂ | 1.711 | | | | | | | | |
| MP | 330 | | | | | | | | |
| Prohibición gradual calefactores | <p>Se considera un costo por la adquisición de un calefactor a pellet de \$ 755.328 pesos chilenos¹¹, por el reemplazo del equipo prohibido. Asumiendo un 100% de inversión del privado.</p> | | | | | | | | |
| Prohibición de uso de calefactores a leña | <p>Se considera un costo por la adquisición de un calefactor a pellet de \$ 755.328 pesos chilenos¹² por el reemplazo del equipo prohibido. Asumiendo un 100% de inversión del privado.</p> | | | | | | | | |
| Recambio de calefactores | <p>Se considera un costo de recambio de pellet de \$ 755.328 pesos chilenos.¹³ Los costos de recambio consideran un subsidio de un 100% por parte del estado.</p> | | | | | | | | |
| Reacondicionamiento Térmico de viviendas | <p>Los costos de reacondicionamiento se calcularon en 160 UF/vivienda, considerando valores promedio de reacondicionamientos de distintas tipologías de vivienda para la zona. Promedio de datos entregados por MINVU.</p> | | | | | | | | |
| Prohibición de Quemadas Agrícolas | <p>No se considera costo para esta medida.</p> | | | | | | | | |

¹⁰ https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/36._AGIES_PDA_Ventanas_1050-.pdf

¹¹ Valor obtenido a través de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de la Araucanía, para la evaluación del Anteproyecto el PDA de Temuco y Padre las Casas, 2021.

¹² Valor obtenido a través de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de la Araucanía, para la evaluación del Anteproyecto el PDA de Temuco y Padre las Casas, 2021.

¹³ Valor obtenido a través de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de la Araucanía, para la evaluación del Anteproyecto el PDA de Temuco y Padre las Casas, 2021.



| Nombre medida | Metodología de evaluación de costos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------|--------------------|----------------|----------------|---------------------------|-------|-----------|-----------|------------------|-------|-----------|-----------|-------------------------|-------|------------|------------|------------------|-------|-----------|-----------|--------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Barrera Cortaviento Áridos | <p>Se considera un costo de 2.486 CLP2017/metro lineal determinado por DICTUC, 2019, para una medida de barrera cortaviento que coincide con las características requeridas. El perímetro total es de 10.458 metros, luego el costo el total para una barrea de 4 años de vida útil es:</p> <table border="1" data-bbox="553 457 1404 835"> <thead> <tr> <th data-bbox="553 457 829 537">Planta</th> <th data-bbox="829 457 1040 537">Perímetro (metros)</th> <th data-bbox="1040 457 1230 537">Costo CLP 2017</th> <th data-bbox="1230 457 1404 537">Costo CLP 2021</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="553 537 829 590">Puente Las Tinajas</td> <td data-bbox="829 537 1040 590">1.024</td> <td data-bbox="1040 537 1230 590">2.545.664</td> <td data-bbox="1230 537 1404 590">2.832.230</td> </tr> <tr> <td data-bbox="553 590 829 642">La Sombra</td> <td data-bbox="829 590 1040 642">1.070</td> <td data-bbox="1040 590 1230 642">2.660.020</td> <td data-bbox="1230 590 1404 642">2.959.459</td> </tr> <tr> <td data-bbox="553 642 829 688">Áridos Aconcagua</td> <td data-bbox="829 642 1040 688">5.479</td> <td data-bbox="1040 642 1230 688">13.620.794</td> <td data-bbox="1230 642 1404 688">15.154.092</td> </tr> <tr> <td data-bbox="553 688 829 741">Tobalongo</td> <td data-bbox="829 688 1040 741">1.614</td> <td data-bbox="1040 688 1230 741">4.012.404</td> <td data-bbox="1230 688 1404 741">4.464.082</td> </tr> <tr> <td data-bbox="553 741 829 793">Túnel La Calavera</td> <td data-bbox="829 741 1040 793">1.271</td> <td data-bbox="1040 741 1230 793">3.159.706</td> <td data-bbox="1230 741 1404 793">3.515.395</td> </tr> <tr> <td data-bbox="553 793 829 835">Total</td> <td data-bbox="829 793 1040 835">10.458</td> <td data-bbox="1040 793 1230 835">25.998.588</td> <td data-bbox="1230 793 1404 835">28.925.259</td> </tr> </tbody> </table> | Planta | Perímetro (metros) | Costo CLP 2017 | Costo CLP 2021 | Puente Las Tinajas | 1.024 | 2.545.664 | 2.832.230 | La Sombra | 1.070 | 2.660.020 | 2.959.459 | Áridos Aconcagua | 5.479 | 13.620.794 | 15.154.092 | Tobalongo | 1.614 | 4.012.404 | 4.464.082 | Túnel La Calavera | 1.271 | 3.159.706 | 3.515.395 | Total | 10.458 | 25.998.588 | 28.925.259 |
| Planta | Perímetro (metros) | Costo CLP 2017 | Costo CLP 2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puente Las Tinajas | 1.024 | 2.545.664 | 2.832.230 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Sombra | 1.070 | 2.660.020 | 2.959.459 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Áridos Aconcagua | 5.479 | 13.620.794 | 15.154.092 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tobalongo | 1.614 | 4.012.404 | 4.464.082 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Túnel La Calavera | 1.271 | 3.159.706 | 3.515.395 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 10.458 | 25.998.588 | 28.925.259 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Polvo resuspendido | <p>Operación de una barredora de polvo en cada una de las comunas del plan con una periodicidad de 1 vez por semana. Se inicia esta medida el año 2026. El costo de inversión de una barredora proviene de DICTUC 2019 y es estimado en 142 millones de CLP 2018, con una vida útil de 8 años. Considerando una barredora por comuna, los costos totales de inversión actualizado a CLP 2021 ascienden a 1.233.559.223. Los costos de operación y mantención unitarios son de 7.387 CLP/km. Considerando una distancia total recorrida de 476 kilómetros por vez (ver DICTUC, 2019), el costo anual asciende a 196.720.297 CLP 2021.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia



4. Resultados de evaluación de medidas

En esta sección se presentan los resultados de reducción de emisiones, concentraciones, y beneficios y costos asociados a las medidas del plan.

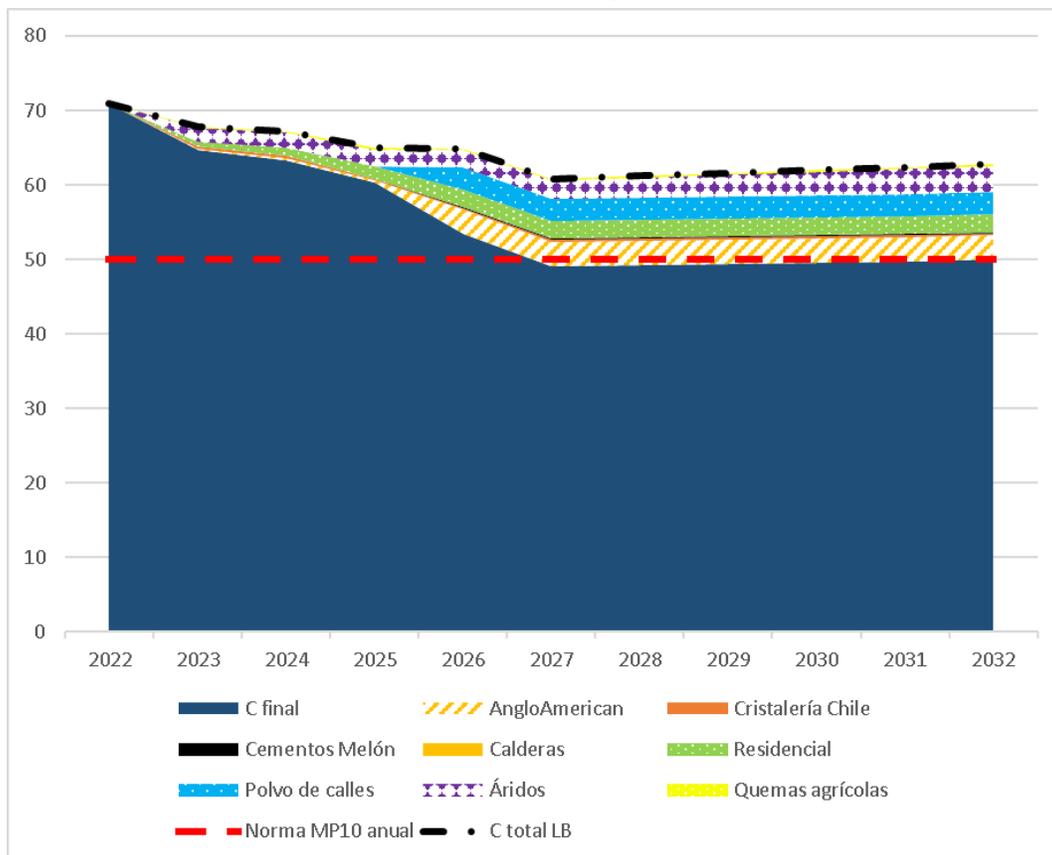
4.1.1. Reducción de emisiones y concentraciones

Para la presente evaluación se considera el cumplimiento de las reducciones de emisiones para los años 2023-2032.

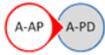
En las siguientes figuras se muestra la evolución en la calidad del aire asociada a la implementación de las medidas establecidas en el Anteproyecto. El foco del análisis está en el MP₁₀ y SO₂ debido a que son los contaminantes que están siendo reducidos directamente por el PPDA. Sin embargo, es importante destacar que el análisis considera la reducción de MP_{2,5}, ya que dicho contaminante genera la mayoría de los beneficios considerados.

La Figura 10 muestra la proyección de la concentración de MP₁₀ en la zona considerando tanto la línea base supuesta como la situación con medidas aplicadas. Para el año 2032 se consiguen disminuciones de 12,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP₁₀, equivalentes a 6,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{2,5}.

Figura 10: Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) proyectada de MP₁₀.

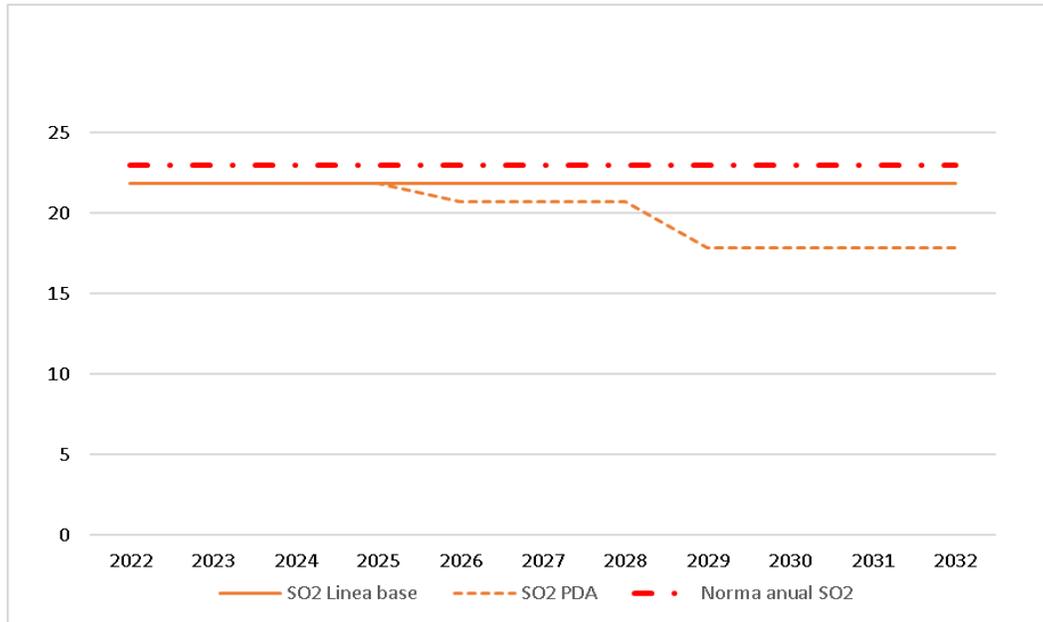


Fuente: Elaboración propia



La Figura 11 presenta el aporte a la reducción de concentración de SO₂ de las diferentes medidas evaluadas al final del horizonte de evaluación. Para el año 2032 se disminuyen 4 ppbv de SO₂.

Figura 11: Concentración (ppbv) proyectada de SO₂.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la reducción de emisiones y concentración de MP₁₀ para el último año del horizonte de evaluación (2032), según medida del plan.

Tabla 6: Reducción de emisiones y concentración con respecto a la línea base, año 2032.

| Empresa o sector | Medida | Línea Base 2032, MP10 | | Reducción (Δ) 2032, MP10 | | % Δ Conc respecto a LB empresa | % Δ Conc respecto a reducción total |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | | Emisiones LB [ton/año] | Conc. LB [μg/m ³] | Δ Emisión [ton/año] | Δ Conc. [μg/m ³] | | |
| AngloAmerican | Límite emisión | 564 | 10,51 | 220 | 3,28 | 31,21% | 25,50% |
| Cristalería Chile | Límite emisión | 39 | 1,00 | 23 | 0,25 | 25,23% | 1,97% |
| Cementos Melón | Límite emisión | 111 | 1,83 | 16 | 0,17 | 9,07% | 1,29% |
| Calderas | Límite emisión | 101 | 1,31 | 0,5 | 0,01 | 1,08% | 0,11% |
| Residencial | Recambios, aislación térmica y | 304 | 3,43 | 211 | 2,38 | 69,41% | 18,50% |
| Polvo de calles | Barredoras | 1.117 | 11,90 | 279 | 2,98 | 25,00% | 23,14% |
| Áridos | Barrera cortaviento | 477 | 5,03 | 334 | 3,52 | 70,00% | 27,37% |
| Quemas agrícolas | Prohibición | 24 | 0,27 | 24 | 0,27 | 100,00% | 2,13% |
| Otras | NA | 1.019 | 15,67 | 0 | 0,00 | | |
| Background | NA | | 11,88 | | | | |
| Total | | 3.758 | 62,8 | 1.108 | 12,9 | 20% | 100% |

Fuente: Elaboración propia.



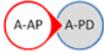
4.1.2. Casos evitados de mortalidad y morbilidad

La disminución de concentración de MP_{2,5} y MP₁₀ se asocia a la reducción de casos de mortalidad y morbilidad en las comunas sujetas al plan. La metodología para la estimación de casos evitados se describe en la sección 7.2 de Anexos. La Tabla 7 detalla los casos evitados desagregados según evento y contaminante, para el año final del horizonte de evaluación y para el horizonte completo de evaluación. Los casos de mortalidad anuales evitados para el año 2032 corresponden a 65, mientras que los casos agregados en el periodo 2023-2032 corresponden a 473.

Tabla 7: Cantidad de casos evitados de mortalidad y morbilidad.

| Evento | Contaminante | Tipo | Casos evitados 2032 (Percentil 50) | Intervalo de confianza (IC) al 90% | Casos evitados 2023-2032 (Percentil 50) | Intervalo de confianza (IC) al 90% |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| Mortalidad | MP _{2,5} | Cardiopulmonar largo plazo | 65 | [42,2 - 89,7] | 473 | [225,3 - 473,1] |
| | MP ₁₀ | Todas las causas largo plazo | 1 | [0,6 - 1,4] | 8 | [3,4 - 8,3] |
| Admisiones hospitalarias | MP _{2,5} | Asma (crónica) | 2 | [1,4 - 2,3] | 10 | [8,1 - 13,4] |
| | MP _{2,5} | Cardiovascular | 24 | [19,9 - 27,8] | 128 | [108 - 149,3] |
| | MP _{2,5} | Respiratorias crónicas | 5 | [-0,6 - 8,2] | 25 | [-2,4 - 44] |
| | MP _{2,5} | Neumonía | 29 | [14,7 - 40,7] | 153 | [77,8 - 213,9] |
| | MP ₁₀ | Bronquitis | 7 | [0,8 - 13,2] | 41 | [4,8 - 77,5] |
| | MP ₁₀ | Bronquitis crónica | 18 | [13 - 22,2] | 95 | [70,1 - 119,2] |
| Visitas Salas de Emergencia | MP _{2,5} | Asma | 756 | [486,3 - 1213] | 4.474 | [2878,1 - 7150] |
| Productividad perdida | MP _{2,5} | Días laborales | 7.383 | [7071,9 - 7958,8] | 42.611 | [40801 - 45893] |
| | MP _{2,5} | Días de actividad restringida | 34.481 | [32106 - 35926] | 198.982 | [185298 - 207212] |
| | MP _{2,5} | Días de actividad restringida menor | 65.030 | [59319 - 68183] | 374.931 | [342408 - 393311] |

Fuente: Elaboración propia



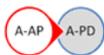
4.2. Indicadores económicos

En esta sección se presentan los indicadores económicos de la evaluación. El valor presente de los beneficios corresponde a US\$ 218,69 millones mientras que los costos ascienden a US\$ 88,03 millones de dólares. Se detallan en la Tabla 8 los beneficios y costos de cada una de las medidas evaluadas.

Tabla 8: Indicadores económicos.

| Empresa o sector | Millones de dólares | | B/C |
|-------------------|---------------------|--------------|------------|
| | VP Beneficio | VP Costo | |
| AngloAmerican | 95,25 | 24,01 | 4,0 |
| Cristaleria Chile | 9,32 | 0,08 | 118,5 |
| Cementos Melón | 0,82 | 0,42 | 2,0 |
| Calderas | 0,39 | 0,17 | 2,3 |
| Residencial | 80,31 | 61,16 | 1,3 |
| Polvo de calles | 22,51 | 1,72 | 13,1 |
| Áridos | 1,36 | 0,06 | 23,9 |
| Quemas agrícolas | 8,73 | | - |
| Fiscalización | | 0,41 | - |
| Total | 218,69 | 88,03 | 2,5 |

Fuente: Elaboración propia



5. Comentarios Finales

En la Provincia de Quillota y las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay, se declaró zona saturada por material particulado respirable MP_{10} como concentración anual y latente como concentración diaria. Asimismo, para la comuna de Catemu, se declaró zona latente por dióxido de azufre SO_2 como concentración anual y de 24 horas.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, las emisiones que generan la saturación por MP_{10} y latencia por SO_2 se originan en fuentes industriales (fundición Chagres de Angloamerican) y fuentes areales, como polvo de calles y áridos. También existe una contribución importante de precursores (SO_2 y NO_x) provenientes principalmente de la minería (AngloAmerican) y el transporte de la ciudad.

El Anteproyecto presenta medidas de reducción de emisiones principalmente orientadas al sector industrial y a mejoramiento térmico de las viviendas y calefacción residencial. También se orientan en reducir el polvo resuspendido. Los AGIES realizan análisis de costo beneficio de las medidas propuestas en el Plan con el objeto de apoyar a los tomadores de decisión en un esfuerzo por hacer que las medidas de política ambiental sean más eficientes y eficaces. En este contexto, a través del presente AGIES se puede concluir lo siguiente:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían salir del estado de saturación para la norma anual de MP_{10} el año 2027 (Figura 2) y prevenir el estado de saturación por SO_2 .
- La reducción de emisiones de MP_{10} , y consecuentemente de $MP_{2,5}$ generará los siguientes beneficios: reducción de los casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud. Adicionalmente, las reducciones de MP y SO_2 poseen otros beneficios no cuantificados en este análisis como mejora en la visibilidad, disminución de efectos negativos en ecosistemas y mejoras en la vulnerabilidad ambiental de la zona, entre otros.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$ 218,69 millones en valor presente¹⁴, donde la mayoría de estos beneficios son atribuibles a la disminución de casos de mortalidad.
- Los costos asociados a la implementación del Plan se estiman en US\$ 88,03 millones en valor presente.
- La implementación de este PPDA tiene una razón beneficio-costo de 2,5.

Lo anterior permite concluir que la implementación de las medidas del plan es rentable desde el punto de vista social, mejorando significativamente la calidad de vida de los habitantes de las comunas.

¹⁴ Supuestos generales. Valor de la vida estadística=10.850 UF al año 2002 (Iragüen y Ortúzar, 2004), proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 759 CLP / Tipo cambio UF: 31.284,94 CLP.



6. Referencias

- Ambiosis (2011). Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica Región de Valparaíso, construcción de un Inventario de Emisiones Regional.
- Arrow, K. J., M. L. Cropper, et al. (1996). "Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and safety regulation?" *Science* **272**(5259): 221-222.
- Boardman, A. E., D. H. Greenberg, et al. (2006). Cost-benefit analysis: concepts and practice, NJ: Prentice Hall.
- C. Ehrlich, G. N., W.-D. Kalkoffa, G. Baumbachb, A. Dreiseidler (2007). "PM10, PM2.5 and PM1.0 -Emissions from industrial plants- Results from measurement programmes in Germany." *Atmospheric Environment* **41**: 6236-6254.
- DICTUC (2019). EVALUACIÓN COSTO MEDIDAS EFECTIVAS PARA DISEÑAR UN INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA ZONA INTERIOR DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO
- EPA (1995). AP 42, Fifth Edition: Chapter 1: External Combustion Sources.
- EPA (2000). Guidelines for preparing economic analyses. Washington, DC, US Environmental Protection Agency.
- Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."
- Geoaire Ambiental Limitada (2015). Evaluación de Medidas Costo Efectivas para Revisar y Reformular el Plan de Ventanas, Encargado por Ministerio del Medio Ambiente.
- GreenLabUC (2013). Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas, Solicitado por SEREMI del Medio Ambiente de la Región de la Araucanía.
- Hanley, N. D. and C. L. Spash (1993). Cost-Benefit Analysis and the Environment, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd.
- Layard, R. and S. Glaister (1994). Cost-Benefit Analysis. Cambridge University Press, London.
- MMA (2011). Guía Metodológica Inventario de Emisiones Atmosféricas M11 Metodología SINCA 2011. Elaborado por AMBIOSIS., Ministerio del Medio Ambiente.



MMA (2011). Valores Recomendados a Utilizar en la Realización de un AGIES que incorpore un Análisis Costo Beneficio - Salud -. Santiago, Preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente.

MMA (2013). Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire. Departamento de Economía Ambiental. Chile, Ministerio del Medio Ambiente.

Sistam (2013). Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Elaboración de una Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial, Solicitado por Ministerio del Medio Ambiente, ID licitación 608897-60-LE13.

US EPA (1998). Guideline on Speciated Particulate Monitoring. O. o. A. Q. P. a. S. (MD-14): 291.

US EPA (2011). Emission Estimation Protocol for Petroleum Refineries. , U.S. Environmental Protection Agency: 250.



7. Anexos

7.1. Factor Emisión Concentración

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de material particulado fino (MP_{2,5}) y grueso (MP₁₀). Para estimar el cambio en la concentración de MP₁₀ o MP_{2,5} con respecto a un cambio en la emisión de un determinado contaminante (NO_x, SO_x, y MP), se debe estimar el factor de emisión-concentración o FEC. El FEC indica las toneladas necesarias de contaminante para aumentar en 1 µg/m³ el promedio anual de concentración de MP₁₀ o MP_{2,5}.

Para calcular el FEC de MP_{2,5} se consideraron las emisiones del inventario año 2019, así como también la concentración de MP_{2,5} excluyendo la concentración de *background*¹⁵ (dado que no tiene emisiones asociadas) y además la concentración secundaria obtenida producto de las emisiones de los precursores de MP_{2,5}: NO_x y SO_x. Este FEC se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FEC_{MP2,5} = \frac{Emision_{MP2,5}}{C_{observada,MP2,5} - C_{background,MP2,5} - C_{secundaria}}$$

La concentración observada de MP_{2,5} se estima en 36,87 µg/m³, considerando el supuesto de que la concentración de MP_{2,5} es un 51% de la concentración observada de MP₁₀ (73 µg/m³). En la siguiente tabla se detallan dichas concentraciones.

Tabla 9: Concentración observada inicial y concentración de *background* utilizadas [µg/m³]

| Concentración | MP ₁₀ | MP _{2,5} |
|---------------|------------------|-------------------|
| Observada | 73 | 36,87 |
| Background | 11,88 | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la concentración aportada por precursores se obtiene de un estudio de composición química del material particulado fino de la zona, donde nitritos y nitratos aportan en un 16% a la formación de M_{2,5}, mientras el sulfato aporta en un 15%. Tanto los supuestos de la fracción de MP_{2,5} respecto al MP₁₀, como los aportes de precursores, provienen de un estudio elaborado por USACH (2020), denominado “Determinación de línea base y estudio de fuentes de contaminantes en la provincia de Quillota y las comunas de Catemu y Llay Llay”.

Para el caso del FEC para el MP₁₀, se considera que los precursores lo afectan de la misma manera que al material particulado fino, mientras que el FEC para la fracción MP_{10-2,5} se

¹⁵ La concentración background se asume en 6 µg/m³ para MP_{2,5}, considerando el mismo supuesto que para la Región Metropolitana (ver AGIES PPDA correspondiente). Para MP₁₀ se considera la fracción de 0,51 entre material fino y grueso, con lo que se obtiene un background de 11,88 µg/m³.



estima de forma que explique la diferencia de concentración observada entre MP₁₀ y MP_{2,5}. El FEC resultante para material particulado y precursores se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10: Factores emisión concentración para MP y precursores anual (ton/año)/(µg/m³)

| Contaminante | FEC |
|-----------------|-------|
| MP10-MP2,5 | 95 |
| MP2,5 | 90,45 |
| SO ₂ | 2.228 |
| NO _x | 1.388 |

Fuente: Elaboración Propia

La interpretación del FEC calculado corresponde al número de toneladas de contaminante que se requerirían para generar 1 µg/m³ de MP₁₀ (o MP_{2,5}). En este AGIES se utilizaron los Factores Emisión-Concentración (FEC) de la estación Catemu dado que corresponde a la estación con peor calidad del aire.

7.2. Metodología para la evaluación de Beneficios en salud

Los efectos en salud se asocian a principalmente a la fracción fina del material particulado (MP_{2,5}), pero también existen efectos por MP₁₀ que fueron cuantificados en este análisis.

La fracción fina del MP contiene partículas tan pequeñas que son capaces de ingresar en las vías respiratorias y depositarse en los alveolos pulmonares e incluso llegar al torrente sanguíneo. Esto provoca graves efectos sobre la salud de las personas, exacerbando enfermedades de tipo respiratorio y dolencias cardiovasculares, siendo los niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias y cardíacas los grupos más vulnerables a la contaminación.

Además de los efectos a la salud de las personas, existen otros beneficios de reducir la contaminación. La Tabla 11 resume los efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios.

Tabla 11: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

| Identificados | Valorizados |
|--|-------------|
| ↓ Mortalidad prematura (MP) | Sí |
| ↓ Morbilidad (MP) | Sí |
| ↓ Productividad perdida (MP) | Sí |
| ↓ Actividad restringida (MP) | Sí |
| ↑ Visibilidad (MP) | No |
| ↓ Corrosión materiales (SO ₂) | No |
| ↑ Producción agrícola (MP, SO ₂) | No |
| ↓ Efectos en ecosistemas (SO ₂) | No |
| ↑ Imagen país (recomendaciones OCDE) | No |



| Identificados | Valorizados |
|---|-------------|
| ↓ Depósito de contaminantes (MP, SO ₂) | No |
| ↓ Efectos en la salud en otras comunas (MP) | No |
| ↑ Cobeneficios en reducción de <i>Black Carbon</i> (MP) | No |

Fuente: Elaboración propia.

El cambio en concentraciones ambientales se relaciona con el cambio en el número de eventos a través de la utilización de funciones dosis respuesta:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} = \sum_{i=1}^n (e^{(\beta_{pj}\Delta C_{pi})} - 1) \cdot P_{ijp} \cdot y_{0j}$$

Dónde:

- ΔEfecto_{pj} : Cambio en efecto en salud j debido al delta de emisión del contaminante p [(ug/m³)⁻¹],
- β_{pj} : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m³)⁻¹],
- ΔC_{pi} : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m³],
- P_{ijp} : Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]
- y_{0j} : Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar¹⁶ la expresión anterior de obtiene:

$$\Delta\text{Efecto}_{pj} \approx \sum_{i=1}^n \beta_{pj} \cdot \Delta C_{pi} \cdot P_{ijp} \cdot y_{0j}$$

Esto implica que para la evaluación se asume una relación lineal entre los niveles de concentración y daños en la salud.

Finalmente, el beneficio se obtiene multiplicando el número de casos por la valoración asociada de padecer uno de los efectos valorados, tal como se señala a continuación:

$$\text{Beneficio}_p = \sum_j \Delta\text{Efecto}_{pj} \cdot VU_j$$

Dónde:

- Beneficio_p : Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p , en este caso MP₁₀, MP_{2,5} y O₃.
- VU_j : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

¹⁶ Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo β es pequeño.



El detalle de la metodología utilizada se encuentra en “Guía Metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire” (MMA 2011).

7.2.1. Valores unitarios de beneficios

Tabla 12: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2018.

| Tipo de efecto | Efecto detalle | Grupo etario | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0-1 | 1-4 | 5-12 | 13-17 | 18-29 | 30-44 | 45-64 | 65-74 | 75+ |
| Mortalidad | <i>Largo y corto plazo</i> | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 | 16.765 |
| Admisiones hospitalarias | <i>Asma</i> | 29 | 29 | 29 | 29 | 31 | 31 | 31 | 0 | 0 |
| | <i>Cardiovascular</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| | <i>Respiratorias crónicas</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 |
| | <i>Neumonía</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 | 44 |
| | <i>Bronquitis</i> | 29 | 29 | 29 | 29 | 40 | 40 | 40 | 41 | 41 |
| Visitas Salas de Emergencia | <i>Asma</i> | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Productividad perdida | <i>Días laborales</i> | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| | <i>Días de actividad restringida</i> | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| | <i>Días de actividad restringida menor</i> | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Fuente: (MMA 2011).

7.2.2. Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 13 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado fino.

Tabla 13: Coeficientes de riesgo unitario

| Tipo de efecto | Efecto detalle | Grupo etario | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0-1 | 1-4 | 5-12 | 13-17 | 18-29 | 30-44 | 45-64 | 65-74 | 75+ |
| Mortalidad | <i>Respiratoria corto plazo</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,39% | 0,39% | 0,39% | 0,39% |
| | <i>Cardiopulmonar largo plazo</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,86% | 0,86% | 0,86% | 0,86% |
| | <i>Todas las causas largo plazo</i> | 0,39% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,6% | 0,6% | 0,6% | 0,6% |
| Admisiones hospitalarias | <i>Asma</i> | 0,33% | 0,33% | 0,33% | 0,33% | 0,33% | 0,33% | 0,33% | 0% | 0% |
| | <i>Cardiovascular</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,15% | 0,15% | 0,15% | 0,16% | 0,16% |
| | <i>Respiratorias crónicas</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,24% | 0,24% | 0,24% | 0,12% | 0,12% |
| | <i>Neumonía</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,4% | 0,4% |

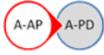


| Tipo de efecto | Efecto detalle | Grupo etario | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0-1 | 1-4 | 5-12 | 13-17 | 18-29 | 30-44 | 45-64 | 65-74 | 75+ |
| | Bronquitis | 0% | 0% | 0,77% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Bronquitis crónica | 0% | 0% | 0% | 0% | 1,11% | 1,11% | 1,11% | 1,11% | 1,11% |
| Visitas Salas de Emergencia | Asma | 0,44% | 0,44% | 0,44% | 0,44% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Productividad perdida | Días laborales | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,46% | 0,46% | 0,46% | 0% | 0% |
| | Días de actividad restringida | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,47% | 0,47% | 0,48% | 0% | 0% |
| | Días de actividad restringida menor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,74% | 0,74% | 0,74% | 0% | 0% |

Fuente: (MMA 2011).

Tabla 14: Detalle coeficientes de riesgo unitario y fuente de información

| Tipo de Efecto | Nombre | Grupo edad | Cont. | Métrica | Fuente | Original Location | Beta | Stderr |
|--------------------------|--|------------|-------|--------------|--------------------|---------------------------------|-------|----------|
| Mortalidad Prematura | Exp de Largo Plazo Todas las Causas | 0-1 | MP10 | Annual | Woodruff et a. | Nationawide, USA | 0,39% | 1,22E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Bronquitis | 5-12 | MP10 | Annual | Hoek et al. | Nine Countries | 0,77% | 4,95E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Bronquitis Crónica | 18+ | MP10 | Annual | Combinati on (OMS) | California, USA and Switzerland | 1,11% | 3,42E-03 |
| Mortalidad Prematura | Exp. Aguda Respiratorias | 30+ | O3 | D1HourM ax | Jerrett et al. | 86 urban areas | 0,39% | 1,32E-03 |
| Mortalidad Prematura | Exp de Largo Plazo Cardiopulmonar | >30 | MP2.5 | Annual | Pope et al. | US Metropolitan Areas | 0,86% | 3,03E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Congestive Heart Failure | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Ito | Detroit, MI | 0,31% | 1,29E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Dysrhythmia | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Ito | Detroit, MI | 0,12% | 2,03E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Ischemic Heart (less Myocardial Infarctions) | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Ito | Detroit, MI | 0,14% | 1,16E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Chronic Lung | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Ito | Detroit, MI | 0,12% | 2,06E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Pneumonia | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Ito | Detroit, MI | 0,40% | 1,66E-03 |
| Admisiones Hospitalarias | Cardiovasculares | 18-64 | MP2.5 | D24HourM ean | Moolgavk ar | Los Angeles, CA | 0,15% | 3,68E-04 |
| Admisiones Hospitalarias | Chronic Lung | 18-64 | MP2.5 | D24HourM ean | Moolgavk ar | Los Angeles, CA | 0,24% | 7,91E-04 |
| Admisiones Hospitalarias | Cardiovasculares | 65+ | MP2.5 | D24HourM ean | Moolgavk ar | Los Angeles, CA | 0,16% | 3,44E-04 |
| Admisiones Hospitalarias | Asthma | 0-64 | MP2.5 | D24HourM ean | Sheppard | Seattle, WA | 0,33% | 1,05E-03 |
| Visitas Sala Urgencia | Asthma | 0-17 | MP2.5 | D24HourM ean | Norris et al. | Seattle, WA | 1,65% | 4,14E-03 |



| Tipo de Efecto | Nombre | Grupo edad | Cont. | Métrica | Fuente | Original Location | Beta | Stderr |
|--------------------------|--------------------------------------|------------|-------|-------------|----------------------|-------------------|-------|----------|
| Restricción de Actividad | Dias Laborales Perdidos | 18-64 | MP2.5 | D24HourMean | Ostro | Nationwide, USA | 0,46% | 3,60E-04 |
| Restricción de Actividad | Dias con Actividad Restringida | 18-64 | MP2.5 | D24HourMean | Ostro | Nationwide, USA | 0,48% | 2,90E-04 |
| Restricción de Actividad | Dias con Actividad Restringida Menor | 18-64 | MP2.5 | D24HourMean | Ostro and Rothschild | Nationwide, USA | 0,74% | 7,00E-04 |
| Visitas Sala Urgencia | Bronquitis Aguda | 0-17 | MP2.5 | D24HourMean | Dockery et al. | Six Cities USA | 0,44% | 2,16E-03 |

Fuente: Elaboración Propia.



7.3. Fichas de medidas sector residencial

5.3.1 Recambio de Calefactores

| Programa de recambio de artefactos a leña | | | | | | |
|---|--|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---|
| Descripción | La SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso ejecutará un programa de recambio voluntario de artefactos existentes (calefactores y cocinas) que combusionen leña o derivados de la madera Vigencia: desde la publicación del PPDA. | | | | | |
| Supuestos de evaluación | 10.000 recambios en cuatro años (2023-2026): por equipos que utilicen pellets considerando 2.500 recambios anuales. Valor equipo pellet: 755.382 CLP/equipo Subsidio: 100% por parte del estado Vida útil equipos de calefacción: 20 años | | | | | |
| Resultados | Medida | Reducción MP₁₀ | | Beneficios Salud | Inversión | CMe |
| | | Ton/año | µg/m³ | MM USD | MM USD | USD/µg/m³ MP₁₀ |
| | Recambio a Calefactores | 1485 | 1,98 | 67,59 | 6.0 | 3,03 |
| | Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2033. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. *Costo variable neto, valores negativos representan ahorros netos. | | | | | |
| Referencias Bibliográficas | (MMA 2013) | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Prohibición gradual de calefactores.

| Prohibición gradual de calefactores | | | | | | |
|-------------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---|
| Descripción | Desde la entrada en vigencia de prohíbe el uso de chimeneas. A contar del 3er año se prohíbe el uso de salamandras y artefactos hechizos A contar del 4to año, se prohíbe el uso de calefactores que no cumplan la norma (D.S. N° 39, de 2011) | | | | | |
| Supuestos de evaluación | La prohibición considera un cumplimiento de un 80%. Cada artefacto recambiado considera la instalación de un equipo a pellet. El 100% del costo será responsabilidad el emisor. | | | | | |
| Resultados | Medida | Reducción MP₁₀ | | Beneficios Salud | Inversión | CMe |
| | | Ton/año | µg/m³ | MM USD | MM USD | USD/µg/m³ MP₁₀ |
| | Prohibición de | 119 | 0,16 | 5,3 | 0,13 | 0,81 |



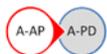
| | |
|---------------------------------|--|
| | Calefactores Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2033. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados. |
| Referencia Bibliográfica | (MMA 2013), (GreenLabUC 2013) |

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Reacondicionamiento térmico

| Subsidio al acondicionamiento térmico de las viviendas existentes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------|----------------------------|---------------------|--|-----------|----------------|----------|-------------------|--------|--------|--|---------------------------------------|-----|------|---------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|------|------|-----|------|-----|
| Descripción | <p>La SEREMI de Vivienda y Urbanismo e la Región de Valparaíso, entregará al menos 16.000 subsidios para acondicionamiento térmico de las viviendas existentes en la zona saturada, durante la duración del Plan.</p> <p>Se deberá dar cumplimiento al menos a los siguientes parámetros adicionales a la normativa vigente en la zona:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muro</th> <th>Piso Ventilado</th> <th>Ventanas</th> <th>Techo</th> <th>Puerta</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> <td>U</td> </tr> <tr> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> <td>W/m²°K</td> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,60</td> <td>2,8</td> <td>0,38</td> <td>1,7</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | Muro | Piso Ventilado | Ventanas | Techo | Puerta | U | U | U | U | U | W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | 0,80 | 0,60 | 2,8 | 0,38 | 1,7 |
| Muro | Piso Ventilado | Ventanas | Techo | Puerta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| U | U | U | U | U | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | W/m ² °K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,80 | 0,60 | 2,8 | 0,38 | 1,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supuestos de evaluación | <p>Vida útil Aislación Térmica: 25 años.</p> <p>Subsidios desde el año 2023 a 2033, con un total de 16.000 subsidios en 10 años (1.600 subsidios anuales).</p> <p>Costos: Costos promedios de reacondicionamiento de distintas tipologías de viviendas, en promedio 160 UF/vivienda para una vida útil de 25 años.</p> <p>Se asume subsidio de 100% por parte del estado.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Resultados | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Medida</th> <th colspan="2">Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Inversión</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VE-Reacondicionamiento térmico</td> <td>162</td> <td>0,23</td> <td>7,39</td> <td>54,94</td> <td>238,86</td> </tr> </tbody> </table> | Medida | Reducción MP ₁₀ | | Beneficios Salud | Inversión | CMe | Ton/año | µg/m ³ | MM USD | MM USD | USD/µg/m ³ MP ₁₀ | VE-Reacondicionamiento térmico | 162 | 0,23 | 7,39 | 54,94 | 238,86 | <p>Reducción de emisiones, concentración y CMe corresponden al año 2033. Beneficios, Ahorros y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p> <p>*Costo variable neto, valores negativos representan ahorros netos.</p> | | | | | | |
| Medida | Reducción MP ₁₀ | | Beneficios Salud | Inversión | CMe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ton/año | µg/m ³ | MM USD | MM USD | USD/µg/m ³ MP ₁₀ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VE-Reacondicionamiento térmico | 162 | 0,23 | 7,39 | 54,94 | 238,86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Referencias Bibliográficas | (MMA 2013), (GreenLabUC 2013) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.



7.4. Reducción de emisiones por contaminante

Tabla 15: Línea base y reducción de emisiones (ton/año).

| Escenario | Contaminante | Periodo de evaluación | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| Línea Base | MP ₁₀ | 4.545 | 4.253 | 4.194 | 3.975 | 3.971 | 3.595 | 3.624 | 3.654 | 3.687 | 3.721 | 3.758 |
| | MP _{2.5} | 1.938 | 1.900 | 1.894 | 1.866 | 1.867 | 1.817 | 1.822 | 1.826 | 1.831 | 1.837 | 1.842 |
| | NO _x | 7.645 | 7.652 | 7.684 | 7.720 | 7.716 | 7.600 | 7.669 | 7.738 | 7.807 | 7.878 | 7.949 |
| | SO ₂ | 10.438 | 10.436 | 10.436 | 10.436 | 10.436 | 10.436 | 10.436 | 10.436 | 10.437 | 10.437 | 10.437 |
| PPDA | MP ₁₀ | 4.545 | 3.979 | 3.857 | 3.573 | 2.988 | 2.594 | 2.604 | 2.614 | 2.625 | 2.637 | 2.649 |
| | MP _{2.5} | 1.938 | 1.813 | 1.760 | 1.683 | 1.358 | 1.306 | 1.309 | 1.311 | 1.314 | 1.317 | 1.320 |
| | NO _x | 7.645 | 7.631 | 7.648 | 7.668 | 7.635 | 7.519 | 7.587 | 7.655 | 7.724 | 7.794 | 7.865 |
| | SO ₂ | 10.438 | 9.883 | 9.882 | 9.881 | 8.530 | 8.530 | 8.530 | 8.530 | 8.530 | 8.530 | 8.531 |

Fuente: Elaboración propia



7.5. Ficha del AGIES

| ÍTEM | GLOSA | DESCRIPCIÓN |
|-----------------------|--|---|
| Identificación | Nombre AGIES | Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la provincia de Quillota y las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay. |
| | Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES | PPDA para la provincia de Quillota y las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay. |
| | Tipo de regulación | Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica |
| | Fecha de término del AGIES | Enero 2022 |
| | Alcance geográfico | Provincia de Quillota y las Comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay. |
| | Instrumento nuevo o revisión | Nuevo |
| | Área de aplicación | Asuntos Atmosféricos |
| Metodología | Metodología | Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013) |
| | Normativas consideradas de línea base | DS N° 28/2013 MMA. Norma de emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico. D.S. N° 29/2013 MMA Norma de incineración |
| | Nivel de evaluación de beneficios | Se valoraron beneficios en salud y costos de abatimiento. |
| | Tasa de descuento | 6% |
| | Beta | Ver Tabla 13 |
| | Tasas de incidencia | (MMA 2011) |
| | Valor de la vida estadística | 10.850 UF al año 2002 proyectado según poder de paridad de compra y crecimiento de la población |
| | Modelo de dispersión | FEC |
| | Beneficios marginales por concentración de MP _{2,5} | (MMA 2011) |
| | Reducción de concentración por parámetro | Año 2032: MP ₁₀ : 12,9 [µg/m ³]. |
| | Años de evaluación | 2023-2032 |
| Parámetros | Valor del dólar | 759 pesos/dólar (promedio mensual móvil enero-diciembre 2021) |
| | Valor de la UF | 31.284,94 pesos/UF (2022) |
| Resultados | Costos estimados en MM USD (valor presente) | US\$ 88,03 millones |
| | Beneficios estimados en MM USD (valor presente) | US\$218,69 millones |



*AGIES PPDA provincia de Quillota y las comunas de Catemu,
Panquehue y Llay Llay*