

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL PARA EL ANTEPROYECTO DEL PLAN DE PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP₁₀ PARA LA LOCALIDAD DE HUASCO Y SU ZONA CIRCUNDANTE

Noviembre 2015

Presentación

El presente informe corresponde al Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) para el Anteproyecto del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica (PPCA) de la localidad de Huasco y su zona circundante, en el cual se evaluaron los beneficios y costos de las medidas propuestas.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como de Planes de Descontaminación y de Prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación (D.S. N° 39/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un AGIES de las propuestas normativas que sirva como apoyo al proceso de toma de decisiones. Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente y es una fuente de información relevante para las etapas de participación ciudadana y para el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y del Cambio Climático.

La fecha de cierre del presente AGIES del anteproyecto del PPCA de Huasco corresponde al día 25 de noviembre de 2015. Ante eventuales cambios que se produzcan en la etapa de elaboración de proyecto definitivo se elaborará una versión resumida de este documento con énfasis en las modificaciones realizadas.

Resumen

El presente documento muestra los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica (PPCA) de la localidad de Huasco y su zona circundante. Éste tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a las medidas propuestas en el Anteproyecto.

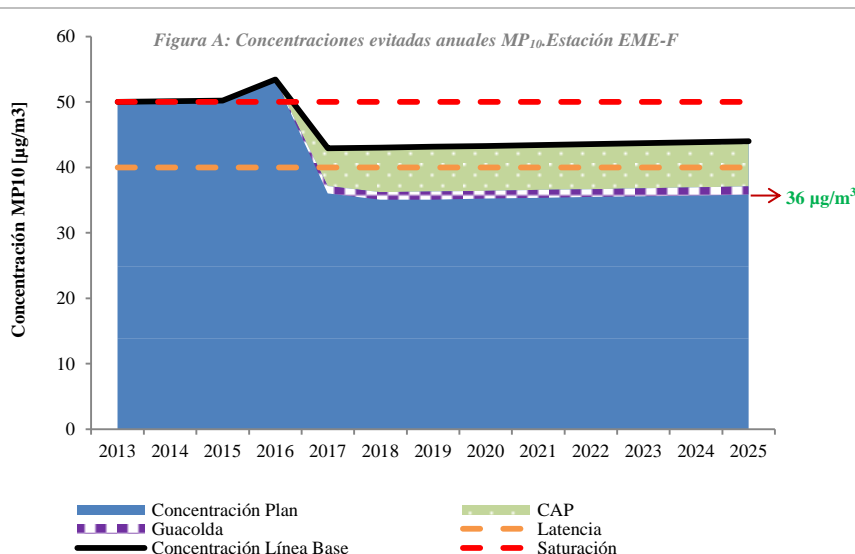
En la localidad de Huasco y su zona circundante las concentraciones ambientales de material particulado respirable (MP₁₀) se encuentran entre un 80% y un 100% del valor de la norma de calidad primaria anual, situación por la que se origina la declaración de Zona Latente (ZL). Los principales emisores son la Compañía Minera del Pacífico S.A (CAP), y la empresa eléctrica Guacolda. Ambas industrias aportan en conjunto un 99% de las emisiones de MP₁₀ para las fuentes identificadas, por lo que las medidas de reducción de emisiones propuestas en el anteproyecto han sido diseñadas considerando a ambas empresas.

Las principales medidas del plan se asocian al control de emisiones fugitivas de las empresas CAP y Guacolda a través de instalación de chutes de transferencia de carga y descarga; cubierta de correas transportadoras; encapsulamiento de canchas; encapsulamiento e hidrolavado de vagones del tren; pavimentación de caminos y programas de barrido de calles. También existen medidas para el control de emisiones de fuentes fijas a través del límite de emisiones de MP.

Los resultados del AGIES indican que:

- Las medidas de reducción de emisiones propuestas en el Anteproyecto permitirían salir de la condición de latencia el año 2019 (Figura A).
- La reducción de emisiones generará los siguientes beneficios: reducción de casos de mortalidad; reducción de efectos en la salud humana con la consecuente disminución de costos en salud. Adicionalmente, la reducción de MP posee otros beneficios no cuantificados en este análisis como en agricultura, ecosistemas, visibilidad, materiales, mejoras en salud en otras comunas (fuera del área de estudio), imagen país y co-beneficios asociados al cambio climático por reducción de Black Carbon (Figura C).
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$2,4 millones, para un horizonte de evaluación de 10 años¹ (Figura D).
- Los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 10 años, ascienden a US\$26,4 millones (Figura D).

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 / Tasa de descuento=6% / Horizonte de evaluación=10 años / Tipo cambio dólar: 621,6 CLP / Tipo cambio UF: 24.600 CLP.



Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015).

Figura A: Concentraciones evitadas anuales MP₁₀. Estación EME-F

La reducción de la concentración anual de MP₁₀ implicaría alcanzar niveles bajo latencia el año 2019, considerando un promedio trianual. El conjunto de medidas con mayor reducción corresponde al de la empresa CAP (81%), mientras que las medidas aplicadas a la empresa Guacolda aportan 11% de la reducción de concentración de MP₁₀. Estas medidas, contribuyen a que en el año 2025, con plena implementación del plan, la localidad de Huasco y su zona circundante alcance una concentración trianual estimada de MP₁₀ de 36 µg/m³.

Figura B: Emisiones y concentraciones por fuente para MP₁₀. Escenarios sin y con PPCA.

Fuente	Línea Base 2025 Fuentes identificadas		Emisiones y concentraciones evitadas 2025 Fuentes identificadas		Emisiones y concentraciones porcentuales evitadas 2025 Fuentes identificadas	
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m ³]	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m ³]	Emisión (%)	Conc. (%)
CAP	853	8,6	689	6,7	81%	78%
Guacolda	400	6,0	42	0,8	11%	13%
Otras fuentes	11	4,6	2	1,0	18%	22%
Total	1.264	19,2	733	8,4	58%	44%

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015).

Figura B: Emisiones y concentraciones por fuente para MP₁₀. Escenarios sin y con PPCA.

La tabla muestra las emisiones y concentraciones de línea base para las fuentes identificadas (año 2025) y con la implementación del plan de modo de estimar su efecto en ambos indicadores.

Las medidas logran para el año 2025 una reducción o mejora de calidad del aire para MP₁₀ de 8,4 µg/m³, siendo CAP la fuente emisora de mayor contribución con 6,7 µg/m³ equivalentes a un 78% de total.

El plan logra hacerse cargo de un 58% de las emisiones y un 44% de las concentraciones asociadas a fuentes identificadas.

Figura C: Casos evitados año 2025 y totalidad el Plan (2016-2025)

Evento	Tipo	Casos evitados 2025 (P50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2025 (P50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	Menores 1 año	0,02	[0,01 - 0,03]	0,20	[0,11 - 0,28]
	Largo Plazo	0,54	[0,44 - 0,62]	4,58	[3,74 - 5,31]
Admisiones hospitalarias	Asma	0,01	[0,01 - 0,01]	0,13	[0,11 - 0,14]
	Cardiovascular	0,18	[0,16 - 0,19]	1,56	[1,39 - 1,7]
	Respiratorias crónicas	0,04	[0,01 - 0,09]	0,38	[0,13 - 0,76]
	Neumonía	0,24	[0,12 - 0,33]	1,97	[0,99 - 2,77]
	Bronquitis en niños	0,13	[0,02 - 0,25]	1,18	[0,14 - 2,23]
	Bronquitis crónica adultos	1,15	[1,04 - 1,55]	10,18	[9,38 - 13,78]
Visitas salas emergencia	Asma	6,19	[4,95 - 9,13]	55,89	[44,42 - 81,77]
Productividad perdida	Días laborales	32,46	[30,23 - 35,12]	309,83	[288,54 - 335,15]
	Días de actividad restringida	192,03	[183,96 - 201,73]	1835,06	[1760,59 - 1925,36]
	Días de actividad restringida menor	361,36	[338,26 - 386,36]	3444,21	[3240,99 - 3684,87]

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015).

Figura C: Casos evitados año 2025 y totalidad el Plan (2016-2025)

El material particulado respirable o MP₁₀ genera impactos en la salud de las personas expuestas a la contaminación. Los efectos son diversos que van desde menor productividad laboral producto de enfermedades, hasta casos de mortalidad prematura o disminución de la esperanza de vida. Todo este espectro de efectos disminuye la calidad de vida de la población, o visto de otro modo, corresponden a los beneficios del PPCA por evitar que ocurran.

La tabla presenta los casos evitados durante el año 2025, y para todo el período de implementación del plan (2016-2025), atribuibles a la reducción de contaminantes atmosféricos, para el percentil 50 y sus intervalos de confianza (IC) al 10%. Estos fueron construidos utilizando funciones establecidas en la literatura y que asocian disminución de la concentración de material particulado atmosférico con cambios en la respuesta de casos.

Debido a limitantes de información, se utiliza funciones dosis-respuesta estándar que no necesariamente abordan la composición del MP₁₀, el cual puede variar en toxicidad dependiendo del tipo de fuente que lo emita.

Nota: los casos se representan en números decimales debido a que es una estimación.

Figura D: Valorización de beneficios y costos del PPCA.

Fuente emisora	Beneficios en Salud (MM USD)	IC Beneficios	Costos (MM USD)	IC Costos	Costo Neto PPCA (MM USD)
Guacolda	0,2	[0,1 - 0,3]	5,3	[3,7 - 6,9]	5,1
CAP	2,2	[1,4 - 2,8]	21,1	[14,7 - 27,4]	18,9
Total	2,4	[1,5 - 3,1]	26,4	[18,5 - 34,3]	24,0

Valor presente asumiendo 10 años de período de evaluación y tasa de descuento del 10%

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015).

Figura D: Valorización de beneficios y costos del PPCA.

Los costos en valor presente para CAP ascienden a MMUSD 21,1, mientras para Guacolda son de MMUSD 5,3. Sumando para el plan un costo total de MMUSD 26,4. Los Beneficios cuantificados en salud suman MMUSD 2,4.

La metodología de valorización sólo incorpora efectos directos asociados a casos evitados de mortalidad y morbilidad, dejando como no valorizado beneficios en ecosistemas, en la equidad ambiental de alcanzar los niveles de norma que el país autoproclamó al decretar la norma de calidad primaria.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1. ANTECEDENTES.....	6
1.1 CONCENTRACIÓN DE MP ₁₀	6
1.2 EMISIONES.....	7
1.3 MEDIDAS EVALUADAS.....	7
2. METODOLOGÍA DEL AGIES.....	8
3. RESULTADOS.....	10
3.1 EFECTOS EN CALIDAD DEL AIRE.....	10
3.2 BENEFICIOS.....	11
3.2.1 Beneficios identificados.....	11
3.2.2 Cuantificación: Casos evitados.....	13
3.3 INDICADORES ECONÓMICOS.....	14
3.3.1 Análisis Costo-Beneficio.....	14
4. CONCLUSIONES.....	15
5. REFERENCIAS.....	16
6. ANEXOS.....	17
6.1 FICHAS DE MEDIDAS EVALUADAS.....	17
6.1.1 Compañía Minera del Pacífico (CAP).....	17
6.1.2 Empresa Eléctrica Guacolda S.A.....	19
6.1.3 Ambas empresas.....	20
6.2 MEDIDAS NO EVALUADAS.....	20
6.3 METODOLOGÍA AGIES.....	21
6.3.1 Beneficios en salud.....	21
6.3.2 Evaluación de costos.....	22
6.4 VALORES UNITARIOS DE BENEFICIOS.....	23
6.5 COEFICIENTES DE RIESGO UNITARIO.....	23
6.6 FICHA DEL AGIES.....	24

1. Antecedentes

La comuna de Huasco se encuentra ubicada en la Región de Atacama, pertenece a la provincia de Huasco, se localiza en el sector litoral de la región y posee una superficie de 1.601,4 km². Según censo del año 2002, el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) estima la población de la comuna de Huasco en 7.945 habitantes, de los cuales 6.383 viven en el casco urbano representando un 80% del total comunal.

El Decreto Supremo N° 40 del 15 de noviembre de 2011 del Ministerio del Medio Ambiente, declaró Zona Latente² por material particulado respirable³ (MP₁₀), como concentración anual, a la localidad de Huasco y su zona circundante.

A la fecha de la declaración se encontraba vigente el D.S. N° 95 de 1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, reglamento que fijaba el procedimiento y etapas para establecer planes de prevención y de descontaminación, y a partir del 1 de agosto del año 2013 entró en vigencia el D.S. N° 39 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, actual Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación.

De esta manera, se origina la elaboración de un Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante. Mediante este instrumento el Estado busca resguardar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación, recuperando los niveles de concentración de MP₁₀ por debajo de los niveles establecidos en la normativa vigente.

1.1 Concentración de MP₁₀

La evolución de la calidad del aire para MP₁₀ en las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) en Huasco, para el periodo comprendido entre 2007 y 2014, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1: Evolución de la concentración de MP₁₀, como promedio anual de 3 años

Estación	Concentración Promedio trianual (µg/m ³ N)							
	2005-2007	2006-2008	2007 -2009	2008 -2010	2009 -2011	2010 -2012	2011 -2013	2012 -2014
EME M	42,9	43,4	44,9	44,9	42,6	42,8	42,7	41,9
EME F	45,1	42,4	45,1	46	43,6	42,9	44,7	44,9

Fuente: Estaciones Monitoras con Representatividad Poblacional (EMRP) EME M y EME F, propiedad de Eléctrica Guacolda S.A.

Desde la declaración de zona latente por material particulado respirable como concentración anual, los resultados de las mediciones indican que se mantiene la condición de latencia para MP₁₀, es decir concentraciones por sobre 40 µg/m³N.

² Zona Latente: Aquella en la que la concentración de uno o más contaminantes se encuentra sobre el 80% del valor de la norma de calidad ambiental.

³ La normativa para MP₁₀, corresponde al D.S 20/2013 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la Republica, que establece una concentración anual máxima de 50 mg/m³N.

1.2 Emisiones

La Tabla 2 presenta el inventario de emisiones calculado para los distintos responsables de la zona estudiada para el año 2013, tanto para MP₁₀, sus precursores (óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre) y otros contaminantes con conocidos efectos en la salud.

Tabla 2: Inventario de Emisiones 2013 (ton/año).

	MP ₁₀	NO _x	SO _x	As	V	Hg	Ni	Pb	Cd
CAP	853	65	487	0,8	0,00	0,025	0,02	0,0050	0,0046
Guacolda	358	6.283	25.034	1,6	0,45	0,034	0,34	0,0053	0,0049
Otras fuentes*	8	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	1.219	6.369	25.522	2,4	0,45	0,059	0,36	0,010	0,0095

*Corresponde a emisiones con y sin combustión de fuentes móviles de empresas y en general de la ciudad.

Fuente: Elaboración propia con datos ajustados del inventario para el año 2013 del estudio DICTUC (2015), estudio desarrollado para MMA.

Se desprende que las fuentes emisoras de mayor relevancia corresponden a la Planta de Pellets de la Compañía Minera del Pacífico S.A. (CAP) y la Empresa Eléctrica Guacolda S.A. perteneciente a AES Gener S.A. (Guacolda), que corresponden el foco de atención de las medidas del PPCA.

1.3 Medidas Evaluadas

En la Tabla 3 se muestran las medidas establecidas en el anteproyecto del plan que serán consideradas en la evaluación económica del presente AGIES.

Tabla 3: Resumen de medidas consideradas en la evaluación

Responsable	Medida
CAP	Límite de emisión de MP para fuentes con combustión
	Encapsulamiento de canchas de acopio de materiales
	Medidas para control de emisiones de fuentes fijas fugitivas
	Encapsulamiento e hidrolavado de vagones del tren
	Pavimentación tramo Puerto Las Losas – Ruta C-468
Guacolda	Medidas para control de emisiones de fuentes fijas fugitivas
	Encapsulamiento de cancha de acopio de carbón
	Pavimentación del camino al vertedero
Ambos	Programa de barrido de calles

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que en el proceso de elaboración de este AGIES no se evalúan medidas para las que no hay efectos directamente cuantificables o para las que no existe información de línea base disponible. Las medidas no evaluadas corresponden a las asociadas con el

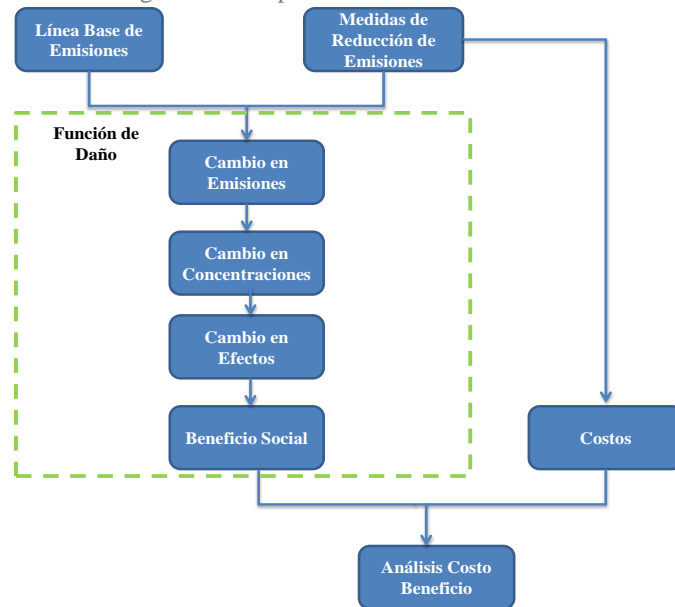
congelamiento de emisiones, monitoreo continuo de emisiones y mejoramiento del sistema de humectación en el vertedero de cenizas de Guacolda. Mayor detalle de éstas se puede encontrar en la Sección 6.2 de Anexos. Los resultados de las medidas evaluadas se presentan en la sección 6.1 de Anexos.

2. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, ampliamente utilizado y recomendado en la literatura para la evaluación de proyectos sociales (Boardman *et al.*, 2006; Hanley and Spash, 1993; Layard and Glaister, 1994). La reducción de emisiones asociadas a Planes de Prevención o de Descontaminación Ambiental tiene efectos medioambientales, económicos y sociales que se resumen en beneficios para los receptores de las emisiones y costos para el regulado, tópicos que serán abordados a continuación⁴.

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, un modelo de análisis de riesgo que incorpora funciones concentración-respuesta basadas en estudios epidemiológicos⁵ y un modelo económico 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 1).

Figura 1. Diagrama metodología utilizada para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



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

⁴ Para mayor detalle de la metodología utilizada, referirse a la sección 6.3 del presente informe.

⁵ Epidemiología se define como el estudio de la distribución y determinantes de estados de salud o eventos en poblaciones determinadas y la aplicación de este estudio para controlar los problemas de salud. Fuente: Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). *Epidemiology: beyond the basics*, Jones & Bartlett Publishers.

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 MP₁₀ 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. En relación a los costos, se incorporan los relacionados con inversión y operación.

El análisis de riesgo y costo-beneficio tiene limitaciones que es necesario considerar a la hora de la evaluación. Entre ellas se pueden mencionar la imposibilidad de incorporar beneficios no valorizados tales 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*⁶.

Dentro de los efectos cuantificados, la composición química del material particulado podría subestimar el número de casos evitados dado que en este caso el MP₁₀ es formado por elementos traza altamente tóxicos para la población.

La no evaluación de estos efectos 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 el uso de la metodología aquí planteada, sin embargo, **no debe ser considerada como el único criterio para la aprobación de una política pública** (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996). Ésta debe tener una visión integral que incorpore otras variables tales como el riesgo de la población expuesta⁷, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, equidad ambiental entre otras⁸.

Particularmente en los casos de los planes de prevención y descontaminación, el objetivo es llegar a cumplir el nivel de norma o latencia definido en la norma de calidad dado dicho nivel representa el estándar (o equivalentemente, el nivel de riesgo) que fue aceptado por el país en la norma de calidad.

⁶ Es un agente capaz de afectar el clima, formado debido a combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Corresponde a carbón puro que absorbe calor en la atmosfera, con tiempo de residencia que va de días a semanas. Se asocia al aumento de la temperatura global.

⁷ En este caso particular, el riesgo en salud está dado de manera implícita con la norma de calidad ambiental de MP₁₀, la cual debe cumplirse en todo el territorio nacional.

⁸ D.S.38 y 39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros por la Sustentabilidad los cuales intentan incorporar los aspectos mencionados.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de las medidas evaluadas, incluyendo reducción de concentración, costos de implementación y beneficios en salud asociados a la disminución de concentración, según la metodología detallada en el punto 2 y la sección 6.3 de Anexos.

Para el caso de las reducciones en concentraciones que generan las medidas de este plan, se presentarán los resultados de MP₁₀ con la finalidad de mostrar el cumplimiento del plan dentro del plazo establecido.

3.1 Efectos en Calidad del Aire

La vigencia del plan se estima a partir del año 2016, y por ende la evaluación comprenderá un periodo de 10 años (2016-2025), considerando años calendario (1 de enero a 31 de diciembre).

En la Tabla 4 se presenta la concentración utilizada para la modelación, la cual corresponde al valor de la estación urbana con las peores condiciones de calidad del aire, estación EME-F, y la que se utiliza como base para el cálculo de reducción de concentración de las medidas. Además se verificó el estado del resto de las estaciones urbanas.

Tabla 4: Concentración utilizada en la modelación.

MP10	Criterio
50 µg/m ³	Concentración de MP ₁₀ medida el 2013 en la estación EME-F

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra el control estimado de concentración atmosférica de MP₁₀ en su métrica anual.

Tabla 5: Emisiones y concentraciones por fuente para MP₁₀. Escenarios sin y con PPCA.

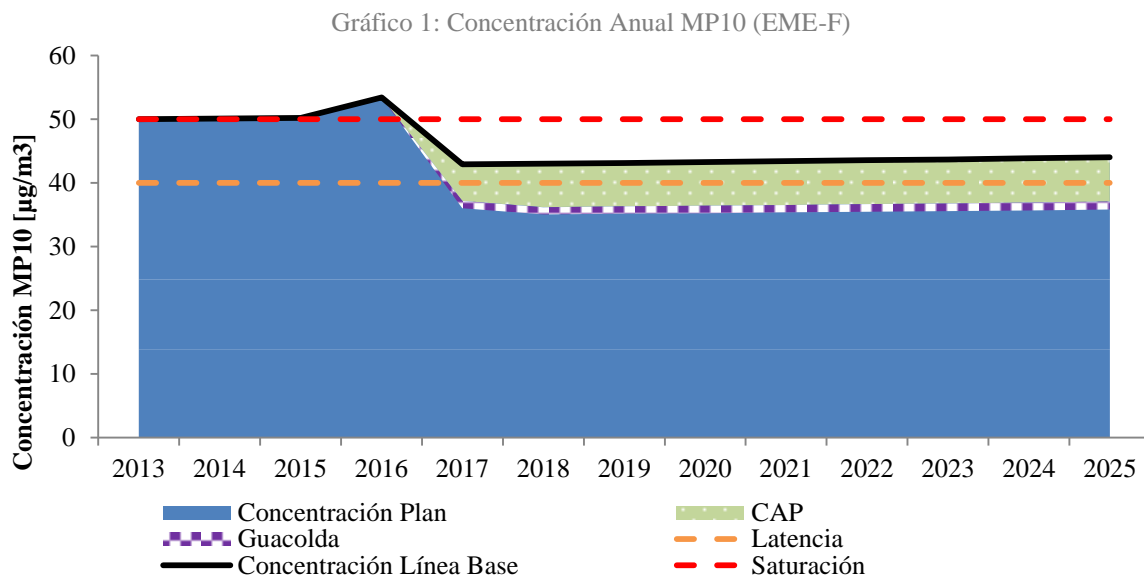
Fuente	Línea Base 2025		Emisiones y concentraciones evitadas 2025		Emisiones y concentraciones porcentuales evitadas 2025	
	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m ³]	Emisiones [Ton/año]	Conc. [µg/m ³]	Emisión (%)	Conc. (%)
CAP	853	8,6	689	6,7	81%	78%
Guacolda	400	6,0	42	0,8	11%	13%
Otras fuentes*	11	4,6	2	1,0	18%	22%
Total	1.264	19,2	733	8,4	58%	44%

* Corresponde a fuentes móviles que no son propiedad de las empresas emisoras.

Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 1 muestra la concentración anual de MP₁₀ entre 2016 y 2025. En él se observa como las medidas contenidas en el plan logran sacar de latencia a Huasco y su zona

circundante. El aumento de concentraciones proyectado para el año 2016 responde a la entrada en operación de la unidad 5 de la empresa Guacolda.



Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015), estudio desarrollado para el MMA.

3.2 Beneficios

A continuación se presentan los beneficios identificados, cuantificados y valorizados atribuibles a la implementación del PPCA de Huasco.

3.2.1 Beneficios identificados

La reducción de concentraciones de MP₁₀ conlleva una serie de beneficios para la sociedad, muchos de los cuales no es posible cuantificar ni valorizar, pero sí pueden ser identificados. La Tabla 6 resume los principales efectos identificados e indica si estos han sido llevados a términos monetarios en la presente evaluación:

Tabla 6: Beneficios identificados derivados de la reducción de emisiones

Efecto identificados*	Cuantificados y Valorizados
↓ Mortalidad prematura (MP)	Sí
↓ Morbilidad (MP, SO ₂)	Sí
↓ Productividad perdida (MP, SO ₂)	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
↓ Depósito de contaminantes (MP, SO ₂)	No
↓ Efectos en la salud en otras comuna (MP)	No
↑ Co-beneficios en reducción de Black Carbon (MP)	No
Cumplimiento de estándares de calidad	No

* ↑ Aumento, mejora en el efecto identificado. / ↓ Disminución reducción en el efecto identificado.

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2013b)

El presente estudio valoró los beneficios en salud asociados a material particulado de acuerdo a la metodología descrita en la sección 2 y anexo 6.3.

a) Toxicidad de la composición del Material Particulado

Las propiedades físicas del material particulado han sido ampliamente estudiadas en la literatura, y presentan resultados concluyentes respecto a los impactos de las partículas sobre la salud de las personas. Por su parte, la composición química del material particulado aún no cuenta con el mismo nivel de estudio y consenso respecto a cuánto más nocivo es respirar MP de cierta composición química (por ejemplo, con metales traza) versus uno que no lo tenga. Esto se traduciría en un probable aumento de los coeficiente de riesgo (beta) que se utilizan en las funciones dosis respuesta, o bien, en otros efectos que en estos momento no es posible cuantificar.

Aun con estas limitaciones, la Tabla 7 presenta una serie de efectos adicionales a los de la Tabla 6 para la exposición a partículas tóxicas de Arsénico, Vanadio, Mercurio, Níquel, Plomo y Cadmio mediante la vía respiratoria. En ella se aprecia de potenciales beneficios al reducir la emisión de estos contaminantes, en particular efectos cancerígenos del arsénico, Níquel y Cadmio.

Tabla 7: Efectos en salud por exposición a partículas tóxicas

Sustancias tóxicas	Efectos en la salud
Arsénico	Cáncer pulmonar
Vanadio	Irritación de las vías respiratorias
	Tos frecuente y persistente
	Silbidos al expirar
Mercurio	Efectos neuromotores (temblores)
	Efectos renales
	Cambios en las enzimas plasmáticas
Níquel	Reacciones alérgicas
	Cáncer nasal y pulmonar
Plomo	Anemia
	Reducción de la producción de hemoglobina

	Alteraciones renales
	Reducción de vitamina D3
	Signos y síntomas de encefalopatía
	Deterioro cognitivo
	Disfunción del nervio periférico
	Discapacidad auditiva
Cadmio	Disfunción renal
	Cáncer pulmonar

Fuente: Elaboración propia en base WHO (2000)

Dada la gravedad de los impactos en salud por toxicidad de las partículas, queda en evidencia el desafío de avanzar en la cuantificación y valoración de los impactos en salud considerando este factor.

Cuantificación: Casos evitados

Tabla 8 muestra una estimación del número de casos evitados por tipo de evento para el año 2025 y para el periodo completo del plan 2016 – 2025 debido a la menor concentración esperada de MP₁₀. Los coeficientes de riesgo unitario utilizados y los valores unitarios por evento se presentan en las secciones 6.4 y 6.5 de Anexos.

Tabla 8: Número de casos evitados al año 2025 y durante la vigencia del plan (casos/año)

Evento	Tipo	Casos evitados 2025 (percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%	Casos evitados 2016-2025 (percentil 50)	Intervalo de confianza (IC) al 90%
Mortalidad	Menores de 1 año	0,02	[0,01 - 0,03]	0,20	[0,11 - 0,28]
	Largo Plazo	0,54	[0,44 - 0,62]	4,58	[3,74 - 5,31]
Admisiones hospitalarias	Asma	0,01	[0,01 - 0,01]	0,13	[0,11 - 0,14]
	Cardiovascular	0,18	[0,16 - 0,19]	1,56	[1,39 - 1,7]
	Respiratorias crónicas	0,04	[0,01 - 0,09]	0,38	[0,13 - 0,76]
	Neumonía	0,24	[0,12 - 0,33]	1,97	[0,99 - 2,77]
	Bronquitis en niños	0,13	[0,02 - 0,25]	1,18	[0,14 - 2,23]
	Bronquitis crónica adultos	1	[1,04 - 1,55]	10	[9,38 - 13,78]
Visitas salas de emergencia	Asma 2	6	[4,95 - 9,13]	55	[44,42 - 81,77]
Productividad perdida	Días laborales	32	[30,23 - 35,12]	309	[288,54 - 335,15]
	Días de actividad restringida	192	[183,96 - 201,73]	1835	[1760,59 - 1925,36]
	Días de actividad restringida menor	361	[338,26 - 386,36]	3444	[3240,99 - 3684,87]

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2013b)

En la Tabla 8 se observa que la mayor cantidad de eventos corresponde a productividad perdida, que acumula en el periodo del plan 5.589 casos. En segundo lugar se encuentran las visitas a salas de urgencia con 56 casos, a continuación se sitúan las admisiones hospitalarias que en conjunto registran 15 casos entre 2016 y 2025. Finalmente, los eventos de mortalidad prematura llegan a 5 casos en el total del periodo evaluado.

3.3 Indicadores Económicos

A continuación se presentan los resultados del análisis costo-beneficio de acuerdo a la metodología establecida en el capítulo 2 del presente informe, en la sección 6.3 y según los supuestos indicados en la sección 6.1 de anexos.

3.3.1 Análisis Costo-Beneficio

La Tabla 9 muestra en valor presente de los beneficios⁹ y costos asociados a la implementación del plan, así como la distribución de estos de acuerdo a cada actor regulado.

Tabla 9: Valor presente de los costos y beneficios del plan en MM USD

Fuente emisora	Beneficios en Salud	IC Beneficios	Costos	IC Costos	Costo Neto PPCA
Guacolda	0,2	[0,1 - 0,3]	5,3	[3,7 - 6,9]	5,1
CAP	2,2	[1,4 - 2,8]	21,1	[14,7 - 27,4]	18,9
Total	2,4	[1,5 - 3,1]	26,4	[18,5 - 34,3]	24,0

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC 2015), estudio desarrollado para el MMA.

El costo social neto es de US\$ 24 millones de dólares para el periodo de evaluación. Cabe recordar que no fue posible incorporar la toxicidad de los contaminantes en el análisis por limitaciones metodológicas y de información. A esto se suman una serie de beneficios identificados y no valorizados en agricultura, visibilidad, materiales, depositación de partículas, ecosistemas, salud en otras comunas y co-beneficios asociados a *Black Carbon*. Todas estas limitaciones dan cuenta de las consideraciones que se deben tener al comparar directamente costos y beneficios, pues mientras los costos se encuentran modelados con altos niveles de precisión, no sucede lo mismo con los beneficios que se encuentran subestimados.

Además, tampoco fue posible valorizar los beneficios productivos para las empresas, asociados a la mejora en sus relaciones con la comunidad, lo que implica riesgos de paralización de operaciones.

⁹ Los beneficios valorizados se detallan en la sección 2.

4. Conclusiones

La localidad de Huasco y su zona circundante evidencia una situación de latencia para la norma anual de MP_{10} , alcanzando concentraciones de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para este contaminante. De acuerdo al inventario de emisiones, para esta zona el mayor emisor de MP_{10} corresponde a la empresa CAP con un 70% de las emisiones, seguido por la empresa Guacolda con un 29%, el resto de los emisores corresponden a fuentes móviles que aportan en conjunto un 1% de las emisiones totales de la zona. Por esto, las medidas del presente plan están dirigidas a las empresas CAP y Guacolda, que en conjunto generan un 99% de las emisiones de las fuentes identificadas.

Para la evaluación del plan se realizó un análisis costo-beneficio, en que se cuantificaron los costos tanto de inversión como de operación y mantención de las diferentes medidas y los beneficios en salud asociados a mejoras en la calidad del aire. Del análisis, se desprende que el beneficio social en salud del plan es de \$2,4 millones de dólares, mientras los costos netos alcanzan \$24 millones de dólares¹⁰.

Cabe destacar que los beneficios cuantificados en salud en este AGIES son basados en metodologías validadas internacionalmente que relacionan MP con efectos en la salud humana, sin embargo, no es específico a la composición química del contaminante. En el caso de las emisiones reducidas con el PPCA contienen Arsénico, Vanadio, Mercurio, Níquel, Plomo y Cadmio, que potencialmente poseen impactos más grandes que los cuantificados. Adicionalmente a los beneficios en salud, se identifican otros beneficios no cuantificados en calidad de vida, agricultura, visibilidad, materiales, ecosistemas, imagen país, depositación de contaminantes y co-beneficios en *Black Carbon*.

Respecto a la concentración alcanzada con el plan, la zona saldría de latencia por norma anual de MP_{10} en el año 2019 y para el término del plan el año 2025 la concentración anual estimada es de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Es importante señalar que los resultados obtenidos en este análisis obedecen a la metodología y supuestos establecidos y deben ser considerados como un antecedente más para la toma de decisiones, a la cual se debe incorporar otros elementos relevantes para la discusión del instrumento. En el futuro se espera reportar dentro de los AGIES los efectos de la política pública en la paridad de género y pueblos originarios, además de informar acerca de los potenciales efectos asociados al cambio climático.

¹⁰ Tanto costos como beneficios están en valor presente de 10 años de evaluación y tasa de descuento del 6%.

5. Referencias

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.

DICTUC (2015). "Antecedentes para Elaborar el Plan de Prevención de la Localidad de Huasco." Estudio desarrollado para MMA.

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."

MIDEPLAN (2011). Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos, División de Planificación. Santiago, Chile.

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 (2013a). 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.

MMA (2013b). 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.

Szklo, M. and F. J. Nieto (2014). Epidemiology: beyond the basics, Jones & Bartlett Publishers.

WHO (2000). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. No. 91.

6. Anexos

6.1 Fichas de Medidas Evaluadas¹¹

6.1.1 Compañía Minera del Pacífico (CAP)

1	Precipitador electrostático en chimenea 2B															
Descripción	Se considera la instalación de un precipitador electrostático en la chimenea 2B como medida de abatimiento de emisiones. Esto reemplazaría al sistema actual de abatimiento. Año de aplicación: 2018															
Supuestos	Eficiencia de reducción del precipitador: 98% Eficiencia del sistema actual: 80% Costo de la medida: 32.577 UF/año Vida útil: 20 años.															
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Precipitador electrostático en chimenea 2B</td> <td>225</td> <td>1,1</td> <td>0,4</td> <td>6,7</td> </tr> </tbody> </table> <p>MM USD/µg/m³ MP₁₀ 1,2</p> <p>Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	Precipitador electrostático en chimenea 2B	225	1,1	0,4	6,7
	Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe												
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD												
Precipitador electrostático en chimenea 2B	225	1,1	0,4	6,7												
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)															

2	Medidas para fuentes fijas fugitivas															
Descripción	Se consideran las siguientes medidas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Instalación de chutes de transferencia de contrapresión en todos los puntos de carga y descarga del material. Año inicio: 2017 2. Instalación de cubierta completa a todas las correas. Año inicio: 2017. 															
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones: 90% Costo de la medida: 1.833 UF/año Vida útil: 20 años.															
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medidas fuentes fijas fugitivas</td> <td>422</td> <td>3,4</td> <td>1,0</td> <td>0,4</td> </tr> </tbody> </table> <p>MM USD/µg/m³ MP₁₀ 0,02</p> <p>Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	Medidas fuentes fijas fugitivas	422	3,4	1,0	0,4
	Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe												
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD												
Medidas fuentes fijas fugitivas	422	3,4	1,0	0,4												
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)															

¹¹ Para todas las evaluaciones se consideró una UF de 24.600 y dólar de 621,6 de acuerdo a los valores de marzo 2015.

3	Medidas para el tren															
Descripción	Las medidas se evalúan en conjunto y corresponden al encapsulamiento e implementación de un sistema automático de hidrolavado de los vagones del tren. Año de implementación: 2017															
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 95% Costo de la medida: 45.815UF/año Vida útil cobertura de vagones: 20 años. Vida útil hidrolavado de vagones: 10 años.															
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medidas para el tren</td> <td>7,5</td> <td>2,0</td> <td>0,6</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀	Medidas para el tren	7,5	2,0	0,6	11
	Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe												
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀												
Medidas para el tren	7,5	2,0	0,6	11												
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)															

4	Encapsulamiento de canchas															
Descripción	Corresponde al encapsulamiento de las canchas de acopio de pre-concentrado de hierro y de carbón. Año de aplicación: 2020															
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 99% Costo de la medida: 18.855UF/año Vida útil: 60 años															
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Encapsulamiento de canchas</td> <td>30</td> <td>0,2</td> <td>0,02</td> <td>2,7</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀	Encapsulamiento de canchas	30	0,2	0,02	2,7
	Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe												
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀												
Encapsulamiento de canchas	30	0,2	0,02	2,7												
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)															

5	Pavimentación tramo Puerto Las Losas – C-468															
Descripción	Pavimentación del tramo Puerto Las Losas a la intersección con la ruta C-468. Año implementación: 2017															
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 90% Costo de la medida: 661 UF/año. Vida útil: 7 años.															
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pavimentación del camino al vertedero</td> <td>0,2</td> <td>0,005</td> <td>0,001</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.</p>		Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀	Pavimentación del camino al vertedero	0,2	0,005	0,001	0,2
	Reducción MP ₁₀	Beneficios Salud	Costos	CMe												
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀												
Pavimentación del camino al vertedero	0,2	0,005	0,001	0,2												
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)															

6.1.2 Empresa Eléctrica Guacolda S.A.

1		Medidas para fuentes fijas fugitivas				
Descripción	Medidas: 1. Encapsulamiento de chutes de transferencia de carga y descarga de carbón. Año inicio: 2017 2. Instalación cubierta completa a todas las correas. Año inicio: 2017.					
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones: 90% Costo de la medida: 246 UF/año Vida útil: 20 años.					
Resultados	Reducción MP₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m³	MM USD	MM USD	
	Medidas fuentes fijas fugitivas	12,8	0,1	0,02	0,1	
Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)					

2		Pavimentación del camino al vertedero				
Descripción	Pavimentación del camino al vertedero. Año implementación: 2017					
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 90% Costo de la medida: 19.301 UF/año. Vida útil: 7 años.					
Resultados	Reducción MP₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe	
	Medida	Ton/año	µg/m³	MM USD	MM USD	
	Pavimentación del camino al vertedero	30	0,6	0,11	4,62	
Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.						
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)					

3	Encapsulamiento de canchas																		
Descripción	Corresponde al encapsulamiento de las canchas de acopio de carbón y petcoke. Año de aplicación: 2020																		
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 99% Costo de la medida: 4.221 UF/año. Vida útil: 60 años.																		
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Encapsulamiento de canchas</td> <td>1,3</td> <td>0,0</td> <td>0,001</td> <td>0,6</td> <td>16,7</td> </tr> </tbody> </table>		Reducción MP ₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀	Encapsulamiento de canchas	1,3	0,0	0,001	0,6	16,7
		Reducción MP ₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe													
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀														
Encapsulamiento de canchas	1,3	0,0	0,001	0,6	16,7														
Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.																			
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)																		

6.1.3 Ambas empresas

1	Programa de barrido																		
Descripción	Programa de barrido de calles públicas donde transitan vehículos de las empresas. Año implementación: 2017																		
Supuestos	Eficiencia de reducción de emisiones de MP10: 23% Costo de la medida: 165 UF/año. Vida útil: 10 años.																		
Resultados	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Reducción MP₁₀</th> <th>Beneficios Salud</th> <th>Costos</th> <th>CMe</th> </tr> <tr> <th>Medida</th> <th>Ton/año</th> <th>µg/m³</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD</th> <th>MM USD/µg/m³ MP₁₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Programa de barrido</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0,2</td> <td>0,04</td> <td>0,01</td> </tr> </tbody> </table>		Reducción MP ₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe	Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀	Programa de barrido	2	1	0,2	0,04	0,01
		Reducción MP ₁₀		Beneficios Salud	Costos	CMe													
Medida	Ton/año	µg/m ³	MM USD	MM USD	MM USD/µg/m ³ MP ₁₀														
Programa de barrido	2	1	0,2	0,04	0,01														
Beneficios y Costos en valor presente de flujos anualizados.																			
Referencias Bibliográficas	(DICTUC 2015)																		

6.2 Medidas no Evaluadas

La Tabla 10 detalla las medidas que no han sido evaluadas para el presente plan.

Tabla 10: Medidas del plan no evaluadas

Responsable	Medida
CAP	Límite de emisiones de MP de acuerdo a las declaradas el 2013 en la chimenea 2A.
	Exigencia de monitoreo continuo para las emisiones de MP en ambas chimeneas ¹²
Guacolda	Mejora del sistema de humectación en el manejo operacional del vertedero de cenizas

Fuente: Elaboración propia.

¹² Esta medida ya se exige a las empresas reguladas a través de la Norma de Emisión de Termoeléctricas y a partir de Resolución de Calificación Ambiental, por lo que sus costos no se atribuyen al plan.

6.3 Metodología AGIES

6.3.1 Beneficios en salud

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones del Material Particulado (MP10).

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 linealizar¹³ la expresión anterior se 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 MP_{2,5}
- VU_j : Valoración unitaria de cada efecto j evaluado [UF/caso]

¹³ 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 2013a).

6.3.2 Evaluación de costos

Los costos evaluados corresponden al costo incremental de las medidas respecto del escenario base, esto es, en ausencia del plan de descontaminación, pero considerando normativas previas vigentes a nivel nacional o en la zona de aplicación de las medidas.

Debido a las diferentes vidas útiles de las inversiones necesarias para dar cumplimiento al plan, se anualizan los costos para una adecuada comparación de estos con los beneficios asociados a salud.

La tasa de descuento utilizada en la evaluación es de 6%, según se recomienda para proyectos sociales (MIDEPLAN 2011).

Se considera la inversión anualizada de acuerdo a su vida útil y los costos de operación y mantención, Los diferentes flujos de costos asociados a las diferentes medidas son llevados a valor presente.

A su vez, el valor presente de los costos corresponde a la sumatoria del costo medio de las medidas multiplicado por la reducción de emisiones asociada para cada periodo,

$$VP_{CT} = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \left(\frac{Inversión_{m,t}}{(1+r)^t} \cdot \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] + \frac{Costos\ OyM_{m,t}}{(1+r)^t} \right) = \sum_{m=1}^M \sum_{t=0}^T \frac{CMe_{m,t} \cdot Red_{m,t}}{(1+r)^t}$$

Dónde:

- VP CT: Valor presente de los Costos Totales realizadas un horizonte de T años, para todas las medidas [\$],
- Inversión_{m,t}: Inversión de la medida m realizada en el año t [\$],
- Costos OyM_t: Costos de Operación y Mantención realizados en el año t [\$/año],
- CMe_m: Costo Medio de la medida m $\left[\frac{\$}{\text{ton de p}} \right]$ o $\left[\frac{\$}{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ de p}} \right]$,
- Red_p: Reducción del contaminante p de la medida m en [ton p] o $\left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ p} \right]$,
- r: Tasa de descuento utilizada,
- n: Vida útil de la inversión [años],
- T: Horizonte de Evaluación de las medidas [años],

6.4 Valores unitarios de beneficios

Tabla 11: Valores unitarios por casos evitados [UF/caso] para el año 2015, escenario Normal.

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 Plazo</i>	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351	15.351
Admisiones hospitalarias	<i>Asma</i>	26	26	26	26	29	29	29	0	0
	<i>Cardiovascular</i>	0	0	0	0	58	58	58	58	58
	<i>Respiratorias crónicas</i>	0	0	0	0	37	37	37	38	38
	<i>Neumonía</i>	0	0	0	0	0	0	0	41	41
	<i>Bronquitis</i>	26	26	26	26	37	37	37	38	38
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0
Productividad perdida	<i>Días laborales</i>	0	0	0	0	0,9	0,9	0,9	0	0
	<i>Días de actividad restringida</i>	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0
	<i>Días de actividad restringida menor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2011)

6.5 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 12 se presentan los valores correspondientes al percentil 50 de los coeficientes de riesgo unitario para el material particulado¹⁴.

Tabla 12: 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>Mortalidad</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%
	<i>Bronquitis</i>	0%	0%	0,77%	0%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%	1,11%
Visitas Salas de Emergencia	<i>Asma</i>	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0%	0%	0%	0%	0%
Productividad perdida (Días)	<i>D, laborales</i>	0%	0%	0%	0%	0,46%	0,46%	0,46%	0%	0%
	<i>D, de actividad restringida</i>	0%	0%	0%	0%	0,47%	0,47%	0,48%	0%	0%
	<i>D, de actividad restringida menor</i>	0%	0%	0%	0%	0,74%	0,74%	0,74%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia en base a (MMA 2011)

¹⁴ Para mortalidad en el grupo etario 0-1 corresponde a riesgo unitario por MP₁₀, mientras para el grupo etario 30-75+ corresponde a MP_{2,5}. Los riesgos unitarios para bronquitis corresponden a MP₁₀. El resto de los riesgos unitarios están asociados a MP_{2,5}.

6.6 Ficha del AGIES

Tabla 13: Ficha AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable MP ₁₀ para la localidad de Huasco y su Zona Circundante
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Declaración de zona latente: Decreto Supremo N° 40 de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente
	Tipo de regulación	Plan de Prevención Atmosférica
	Fecha de término del AGIES	Noviembre 2015.
	Alcance geográfico	Localidad de Huasco y su zona circundante.
	Instrumento nuevo o revisión	Instrumento Nuevo.
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos.
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013a)
	Normativas consideradas de línea base	Norma de Termoeléctricas.
	Nivel de evaluación de beneficios	Sólo se valoró beneficios en salud.
	Tasa de descuento	6%
	Beta	Ver Tabla 12
	Tasas de incidencia	(MMA 2011)
	Valor de la vida estadística	14.910 UF al año 2014, con IC al 90% de [10,345; 18,991] UF
	Modelo de dispersión	FEC calculados a partir de CALPUFF (DICTUC 2015)
	Beneficios marginales por concentración de MP _{2,5}	(MMA 2011)
	Reducción de concentraciones por parámetro (Diario)	Año 2025: MP ₁₀ : 8,4 [µg/m ³].
	Reducción de emisiones por parámetro	Año 2025: MP ₁₀ : 733 ton/año
Años de evaluación	2016-2025	
Parámetros	Valor del dólar	621,6 pesos/dólar
	Valor de la UF	24.600 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD (valor presente)	26,4
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	2,3
	Valor actual neto en MM USD	-24