

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL  
**ANTEPROYECTO DE LA NORMA PRIMARIA DE CALIDAD DEL AIRE PARA  
 ARSÉNICO**

---

*Marzo 2023*

## 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 Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (D.S. N°38/2012, 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 una Norma de Emisión, 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) de la Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico.

Figura 1: Etapa del AGIES



Fuente: Elaboración propia

Este análisis evalúa el impacto en la calidad del aire de la norma propuesta 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 la implementación de la norma propuesta.

Los resultados presentados corresponden a la norma definida 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

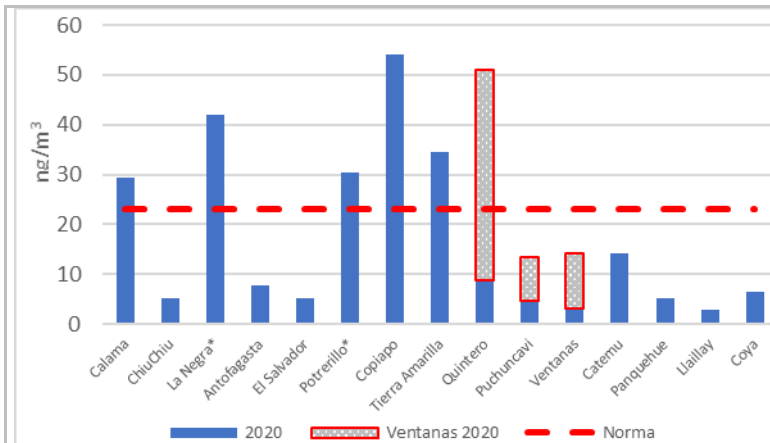
El presente Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de la Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico, tiene como objetivo evaluar los beneficios y costos asociados a los límites regulatorios propuestos por el Anteproyecto. Utilizando la información levantada por el estudio “Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico” elaborado por DICTUC S.A para el MMA.

La metodología empleada en la elaboración del AGIES corresponde a un Análisis Costo-Beneficio (ACB), donde se llevan a términos monetarios los impactos (costos y beneficios) de la normativa en análisis. El ACB consideró la comparación de dos escenarios: situación de línea base y situación con normativa. Los costos considerados corresponden a costos incrementales de inversión asociados al cumplimiento de los valores normativos y los costos de inversión, operación y mantención de medidas de abatimiento y los costos de fiscalización de la Norma. Por su parte los beneficios se consideran como los ahorros monetarios por reducciones de riesgo de mortalidad.

Los resultados del AGIES indican que:

- La estación de monitoreo C.D. 23 de marzo (comuna de Calama – Fundición Chuquicamata), Paipote (comuna de Copiapó – Fundición Hernán Videla Lira) y Tierra Amarilla (comuna de Tierra Amarilla – Fundición Hernán Videla Lira) poseen superaciones a la norma propuesta, lo que indica que, existirán potenciales costos a través de la implementación de técnicas de abatimiento con la entrada en vigencia de un Plan de Descontaminación Ambiental (Figura A).
- Las estaciones de moniterio presentes en el sector La Negra (fundición Altonorte) y Potrerillo (fundición Potrerillos), no poseen representatividad poblacional y corresponden a situaciones muy específicas de evaluación. Al no identificarse población expuesta para estas estaciones, no son consideradas en la evaluación (Figura A).
- Los costos por la implementación de un PDA el cual permitiría a través de medida específicas dar cumplimiento a la norma, corresponden a 475.351 UF/año, en Tabla A.
- Los costos de fiscalización se consideraron en base a información entregada por la Superintendencia del Medio Ambiente para normas similares, y corresponden a 1.256 UF/año, en Tabla A .
- Por su parte los beneficios asociados a la reducción de efectos crónicos en la población corresponden a 311.648 UF/año. Y consideran la reducción de casos asociados a cáncer dada la exposición a arsénico y como co-beneficio o externalidad positiva la reducción en la concentración de MP<sub>2,5</sub>, dada la implementación de medidas de abatimiento que poseen reducción para ambos contaminantes (Tabla B).
- Finalmente se obtiene que la razón beneficio costo es de 0,7, como se presenta en la Tabla C.

En conclusión, la estimación de los costos y beneficios de la NPCA para arsénico arroja una relación de 0,7 si bien este valor es mayor que cero y se observa que el proyecto tiene costos mayores a los beneficios, es importante considerar que son solo 3 comunas las que presentan superaciones que, bajo el escenario de evaluación del AGIES generarán reducciones. Considerando la magnitud de la población expuesta en general los análisis de costo y beneficio en estos casos arrojarán beneficios bajos, dada por la cantidad de población, sin embargo, esto no significa que la NPCA no proteja a la salud de la población o que no cumpla con el objetivo de protección ambiental.


**Figura A: Concentraciones Línea Base año 2020**

Se observa que las concentraciones superan a la norma propuesta en las áreas de Calama, Copiapó y Tierra Amarilla siendo estas las únicas que incurrirían en la aplicación de una declaración de zona. Por otra parte, las áreas de La Negra y Potrerillos, son estaciones sin representatividad poblacional, por lo que no se considera su reducción de emisiones. Se considera en este escenario la aislación del efecto de la fundición Ventanas para las comunas de Quintero, Puchuncaví y Ventanas.

Fundiciones	Tipo de Costo	Costos NPCA [UF/Año]
Fundición Chuquicamata	Inversión	232.000
	O&M	29.700
	Detención para instalación medidas	6.195
Fundición HVL	Inversión	195.700
	O&M	10.790
	Detención para instalación medidas	966
<b>Total PDA</b>		<b>475.351</b>
<b>Costos de Fiscalización</b>		1.256
<b>Total Norma</b>		476.607

**Tabla A: Costos por la implementación de medidas de abatimiento para el cumplimiento normativo.**

Se consideran los costos de asociados a la reducción de la emisión para lograr los objetivos de calidad de la fundición Chuquicamata asociada a la estación C.D. 23 de marzo y de la fundición Hernán Videla Lira, asociada a las estaciones de Paipote y Tierra Amarilla, considerando costos anuales de 475.351 UF/año.

Se consideran costos para el estado. Se estima el costo anual de fiscalización de la Norma, a partir de información entregada por la Superintendencia del Medio Ambiente en normas similares (SMA).

Fundición	$\Delta$ Cáncer	$\Delta$ Mortalidad	Beneficios
	[casos/año]	[casos/año]	[UF/año]
Calama	0,19	3,9	77.502
Copiapó, Tierra Amarilla	0,41	12	234.146
<b>Total</b>	<b>0,68</b>	<b>15,9</b>	<b>311.648</b>

**Tabla B: Beneficios y reducción de casos.**

Se reducen en 0,68 los casos asociados a cáncer por exposición a Arsénico, por su parte como co-beneficio se reducen 15,9 casos de mortalidad al año por la disminución de la concentración de  $MP_{2,5}$  en las comunas de Calama, Copiapó y Tierra Amarilla. Esto sugiere que se obtendrán beneficios para la población expuesta por 311.648 UF/Año.

Norma	beneficios	Costos	B/C
	[UF/año]	[UF/año]	
(23 ng/m <sup>3</sup> )	311.648	476.607	0,7

**Tabla C: Razón Beneficio Costo.**

Finalmente al comparar los beneficios y los costos de la regulación, se obtiene una relación de 0,7 veces los beneficios versus los costos.

## ÍNDICE

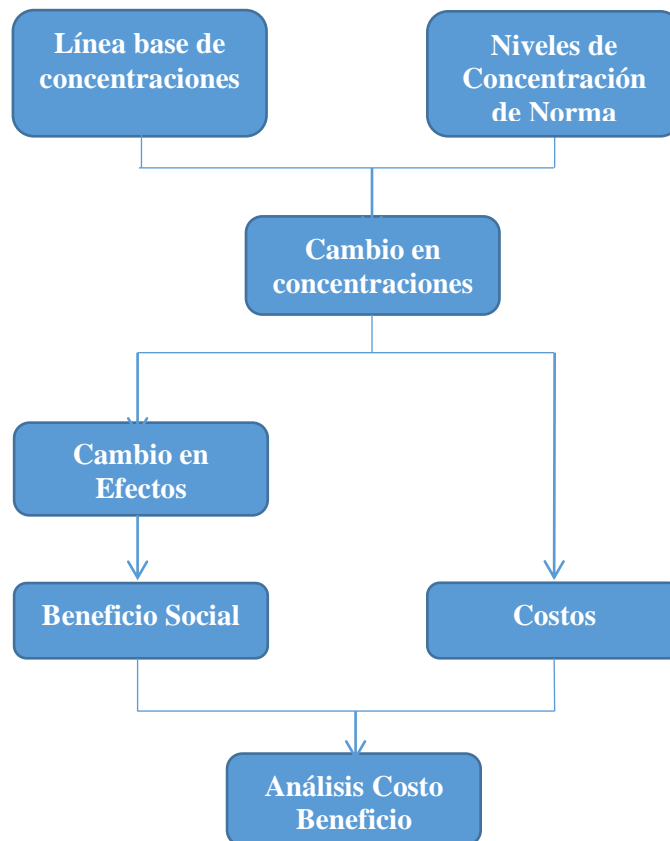
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>1. METODOLOGÍA DEL AGIES</b> .....	<b>7</b>
1.1 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE .....	9
1.2 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO .....	9
1.3 COSTOS Y BENEFICIOS .....	10
<b>2. RESULTADOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE CALIDAD NACIONAL.....	12
2.2 COSTOS.....	13
2.2.1 <i>Costos por reducción de la concentración</i> .....	13
2.2.2 <i>Costos de monitoreo y fiscalización</i> .....	14
2.3 BENEFICIOS .....	14
<b>3. CONCLUSIONES.</b> .....	<b>16</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>17</b>
<b>5. ANEXOS</b> .....	<b>18</b>
5.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE COSTOS.....	18
5.1.1 <i>Medidas de abatimiento a implementar</i> .....	19
5.2 METODOLOGÍA DE BENEFICIOS EN SALUD.....	20
5.2.1 <i>Coeficientes de Dosis-respuesta</i> .....	21
5.3 CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES 2020-2035. ....	23
5.4 ANEXO 3: FICHA RESUMEN AGIES.....	25

## 1. Metodología del AGIES

La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio, donde se generan diferentes indicadores que den respuesta a los impactos de la implementación de una política pública, aportando antecedentes para el proceso normativo.

Los indicadores son elaborados utilizando una serie de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las concentraciones de calidad del aire producto de un escenario de norma, con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el modelo integra (i) una sección de generación de línea base de calidad del aire, (ii) un modelo que compare la línea base con los niveles normativos para evaluar potenciales superaciones de la norma, (iii) un modelo de concentración-respuesta en efectos en salud basado en estudios epidemiológicos y (iv) un modelo de valorización de beneficios. Respecto de los costos, se integra (v) la valoración de la reducción de concentraciones, basado en un modelo de Emisión-Concentración, asumiendo reducciones de emisiones dada la implementación de tecnologías de abatimiento en las fuentes emisoras. En la Figura 2 se muestra el diagrama que representa la metodología utilizada para la evaluación (MMA 2013).

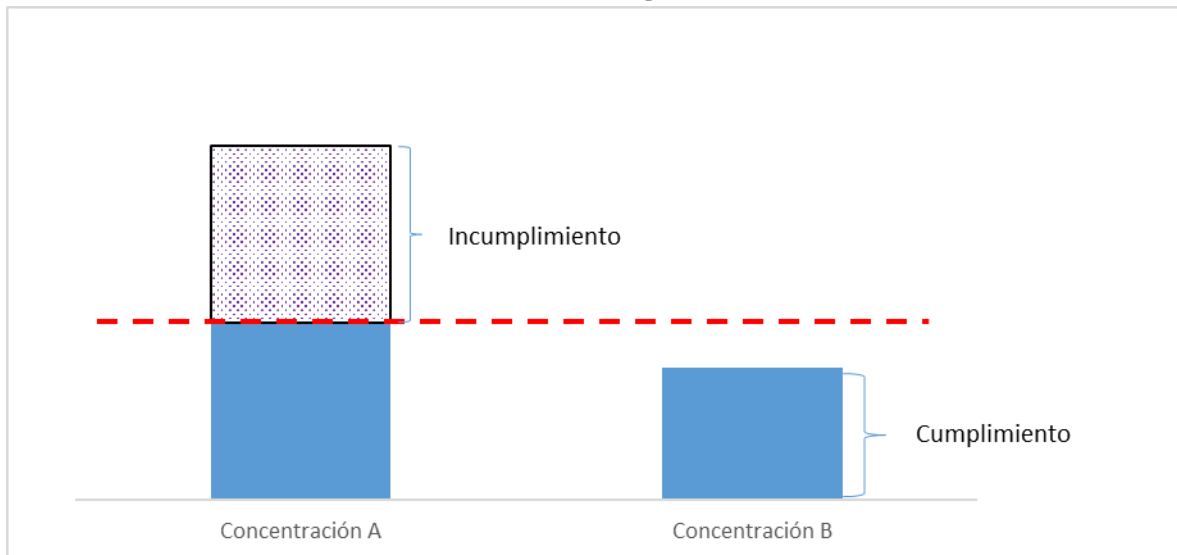
Figura 2: Diagrama metodológico para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



Fuente: Elaboración propia basado en (MMA 2013)

De la Figura 2, se desprende entonces que el primer análisis que se debe elaborar es el “análisis de cumplimiento”, el cual establece los cumplimientos y superaciones que se generan al comparar la línea base (calidad actual) versus los límites normativos propuestos. En este sentido el Gráfico 1 presenta los posibles escenarios que se pueden generar del análisis de cumplimiento.

Gráfico 1: Evaluación de cumplimiento Normativo



Fuente: Elaboración propia

Se observa del Gráfico 1 que existen dos potenciales escenarios, el primero denominado “Concentración A” en el cual las concentraciones sobrepasan el límite impuesto por la NPCA, en este caso, la metodología de AGIES considerará que se deberán evaluar las potenciales reducciones en emisiones para alcanzar los niveles de concentración requeridos, generando con esto costos y beneficios asociados a un potencial Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA). Por otra parte, el escenario “Concentración B” considera que la norma cumple con los límites establecidos por la NPCA, por ende, no existirán costos y beneficios asociados por la implementación de un PDA y solo se considerarán los potenciales costos de monitoreo y fiscalización de la NPCA y los beneficios cualitativos que esta pueda traer a la población.

Es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisión mediante el uso de la metodología aquí planteada, sin embargo, ésta no debe ser considerada como el único criterio para la aprobación de una política pública (Fisher 1991; Arrow, Cropper et al. 1996), ya que se 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<sup>1</sup>.

## 1.1 Evaluación de la Calidad del aire

Este AGIES evalúa los datos de calidad del aire para Arsénico, considerando información de estaciones de monitoreo a lo largo del país. Cabe destacar que existe una asociación entre las estaciones ubicadas en zonas con existencia fundiciones de cobre, ya que son las fundiciones quienes generan la mayor emisión de arsénico en el país. Sin embargo, debido a que se está evaluando una Norma Primaria de Calidad, se analizan todas las estaciones a nivel nacional.

## 1.2 Análisis de cumplimiento

El análisis de cumplimiento se realiza considerando la información más reciente, y la proyección de las concentraciones entre el año 2020 y 2035 (ver MMA 2022, capítulo 3.4), con base al año 2020, desde el cuál se puede estimar el cumplimiento de la normativa.

Al tratarse de una norma de calidad anual 23 ng/m<sup>3</sup>, el análisis de las concentraciones se realiza con el promedio de los datos anuales. Una vez que se obtiene este promedio, se compara su valor respecto a la norma a implementar, siguiendo la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{\text{arsénico},i,a} = C_{LB,i,a} - C_{\text{Norma}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

$\Delta C_{\text{arsénico},i,a}$ : Reducción de concentración de arsénico requerida en comuna “i” y el año “a” para cumplir NPCA en ng/m<sup>3</sup>.

$C_{LB,i,a}$ : Concentración de línea base de Arsénico para la comuna “i” en ng/m<sup>3</sup>, para el año “a” de la proyección del inventario.

$C_{\text{Norma}}$ : Límite de concentración anual de Arsénico establecido por NPCA en ng/m<sup>3</sup>.

Si el  $\Delta C_{\text{arsénico},i,a} > 0$  entonces consideramos que existe un incumplimiento, por el contrario si el  $\Delta C_{\text{arsénico},i,a} \leq 0$  consideramos que se establece un cumplimiento normativo, tal como se explica en el Gráfico 1.

<sup>1</sup> 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 también intentan incorporar los aspectos mencionados.

Cabe destacar que el ejercicio de cumplimiento considera que las reducciones se generarán dada la implementación de un Instrumento de Gestión Ambiental derivado de la normativa, esto quiere decir que, una vez superada la calidad del aire de arsénico en la comuna “i” se deberá dictar un Plan de Descontaminación para incorporar medidas de reducción de emisiones de las fuentes las cuales deben poseer la capacidad de reducir la concentración medida al nivel de la norma. Con estas reducciones se procede a calcular los costos y beneficios de la Norma.

### 1.3 Costos y Beneficios

En el caso de existir superaciones a la NPCA para el Arsénico, la metodología a utilizar para la estimación de beneficios considera la valorización económica de la reducción de casos asociados a los efectos del arsénico en la salud de la población expuesta, los cuales son de carácter crónico, dados principalmente por la reducción de cáncer y considera co-beneficios o externalidades positivas por la reducción de otros contaminantes, específicamente MP<sub>2,5</sub>.

De esta forma, existiendo superaciones se relaciona la reducción del número de efectos (casos) en la salud de la población expuesta, a través de la utilización de funciones dosis-respuesta. Para esto se asume una relación lineal entre los niveles de concentración y los daños en la salud. Luego, los beneficios valorizados en unidades monetarias se obtienen multiplicando el número de casos por la valoración unitaria (valor por cada caso) asociada a padecer los efectos valorados<sup>2</sup>. Por consiguiente el cálculo de beneficios considera los ahorros que genera el estado y las personas por la disminución de enfermedades, y son valorizados en UF/año. Los detalles de cálculo de beneficios se pueden encontrar en el capítulo 5.1.1 de anexos y con más detalle en el capítulo 4 del estudio MMA (2022)<sup>3</sup>.

Respecto de los costos, estos se calculan considerando en primer lugar las reducciones necesarias a lograr para el cumplimiento normativo, considerando la implementación de medidas de abatimiento o medidas de gestión de la producción. En el caso del presente AGIES, se consideraron los costos de abatimiento para la reducción de la emisión de Arsénico, junto con los costos de operación y mantenimiento (O&M), y además se valoró

<sup>2</sup> Beneficios salud en base a:

- MMA (2022). Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y fuentes emisoras de Arsénico. Preparado por DICTUC. Disponible en: <https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2022/proyectos/220617-NORMAAS-InformeFinal-NC.pdf>
- 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. Disponible en <http://sinia.mma.gob.cl/>
- 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. Disponible en <http://sinia.mma.gob.cl/>

<sup>3</sup> Principalmente quimioterapias.

económicamente la pérdida de producción por el tiempo en el que la fundición se encontraba sin producir dada la implementación de estas tecnologías de abatimiento (UF/día).

Adicionalmente se consideran los costos de fiscalización de la NPCA, los cuales consideran básicamente los costos que incurrirá el estado por la elaboración de informes, revisiones de data, y evaluaciones del cumplimiento de la Normativa, los cuales recaerán en la Superintendencia del Medio Ambiente, y consideran la contratación de 2 profesionales adicionales para estas labores.

Los costos para este AGIES han sido calculados en UF/año, el detalle de la estimación de los costos se puede observar en Anexos 5.1 del presente documento.

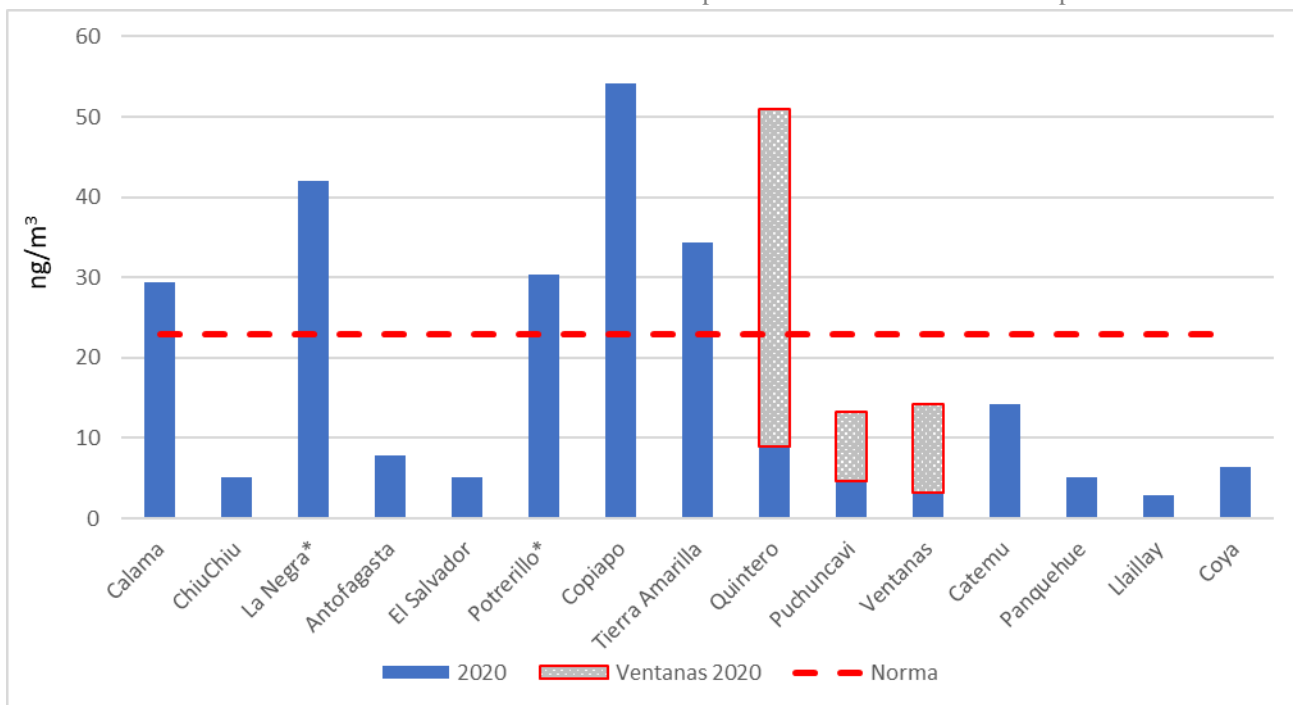
## 2. Resultados

A continuación, se presenta un análisis de las concentraciones de arsénico a nivel nacional y su proyección, considerando las estaciones con mediciones de arsénico a nivel Nacional. En el capítulo de Anexos 5.3, se pueden observar las concentraciones base y los delta de reducción generados por la NPCA.

### 2.1 Análisis de cumplimiento de Calidad Nacional

A continuación, se presenta el análisis de cumplimiento para el año 2020, el cual corresponde al primer año de la presente evaluación. De este análisis se puede observar que existe variabilidad entre las concentraciones medidas en las diferentes comunas, se puede concluir que, respecto al límite propuesto de 23 ng/m<sup>3</sup> (línea roja punteada) existen comunas que superan los límites regulatorios. Para el caso de ventanas y dado el efecto de su cierre a futuro, se ha considerado mostrar los resultados aislando el efecto de su emisión, en el capítulo Tabla del Capítulo Anexo 5.3, se puede observar el aporte de esta fundición a las comunas de Quintero, Puchuncaví y Ventanas.

Gráfico 2: Concentraciones Anuales campañas de monitoreo 2020 todo el país.



Fuente: Elaboración propia

\*estaciones sin representatividad poblacional, o sin población expuesta.

Debido al futuro cierre de la fundición ventanas, se ha decidido aislar el efecto de la función en las concentraciones de las comunas afectas, con el fin de no considerar estas concentraciones dentro de una eventual evaluación de costos y beneficios que pudiera conducir a errores metodológicos de sobreestimación de los efectos a considerar por esta normativa, dado que el cierre de ventanas se genera por la aplicación de otros instrumentos jurídicos.

Considerando los antecedentes anteriormente expuestos en Gráfico 2, se puede concluir que las comunas de Calama asociado a la fundición Chuquicamata y las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla asociadas con la fundición Hernan Videla Lira, presentan superaciones para Arsénico por sobre la normativa, lo que generaría un incumplimiento en estas estaciones. Por otra parte las estaciones presentes en el sector de La Negra y Potrerillos (Fundición Altonorte y Potrerillos, respectivamente), son estaciones sin representatividad poblacional por Material Particulado Fino MP<sub>10</sub> (EMRP-MP10), en donde las estaciones de monitoreo son consideradas de alto impacto por su cercanía a la fundición, en estos casos esas concentraciones son utilizadas como guías para conocer el comportamiento de los contaminantes, pero no son consideradas para los análisis de cumplimiento ni sus fuentes afectas a la evaluación de costos.

## 2.2 Costos

A continuación se presentan los costos asociados al cumplimiento de los límites regulatorios, cuyo objetivo es calcular los costos de abatimiento de las fuentes identificadas en las comunas con superación. Junto con los costos de fiscalización asociados a la revisión anual del cumplimiento normativo a cargo de la SMA.

### 2.2.1 Costos por reducción de la concentración

A continuación se presentan los costos de inversión, operación y mantención (O&M) y de detención de la fundición para la instalación de medidas. Se observa que del incumplimiento de la norma identificado en el Gráfico 2 y considerando que el 99% de las emisiones de arsénico en las tres comunas provienen de las fundiciones, se calcularon los costos para cada una de ellas, a continuación se resumen estos costos en la Tabla 1.

Tabla 1: Costos de cumplimiento de la NPCA

Fundiciones	Tipo de Costo	Costos NPCA [UF/Año]
Fundición Chuquicamata	Inversión	232.000
	O&M	29.700
	Detención para instalación medidas	6.195
Fundición HVL	Inversión	195.700
	O&M	10.790
	Detención para instalación medidas	966
<b>Total</b>		<b>475.351</b>

Fuente: elaboración propia en base a MMA 2022

Estos costos deben considerarse solo en el caso de la implementación de un Plan de Descontaminación Ambiental, puesto que, la Norma Primaria por si sola sólo considera el monitoreo y la fiscalización de la calidad del aire, sin embargo, se calculan los potenciales costos de abatimiento para entregar información más específica para la toma de decisión.

### 2.2.2 Costos de monitoreo y fiscalización

Los costos de fiscalización han sido obtenidos a través de los costos de fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y se calculan en CLP 44 millones por año, este costo corresponde a la estimación por fiscalización realizada por la SMA, por la incorporación de dos profesionales adicionales a la dotación, quienes trabajarán específicamente para esta norma.

Los costos anualizados se han traspasado al valor de la UF con el fin de hacerlos comparables con los costos de abatimiento, considerando el valor de la UF de 35.054,68 pesos.

Tabla 2: Costos de inversión, monitoreo y fiscalización de la NPCA. En US\$ millones al año

Tipo de costo	Valor Anualizado (UF/año)
Fiscalización	\$1.256

Fuente: Elaboración propia

El 100% de los costos corresponden al Estado, y están asociados a la SMA.

## 2.3 Beneficios

Para el caso de los beneficios se consideran los valores anuales para el año de término de la proyección de los escenarios, esto quiere decir el año 2035 considerando plena implementación de la NPCA y sus respectivos instrumentos de gestión ambiental que generen reducciones.

La evaluación de los efectos en salud se realiza considerando los casos evitados por la reducción de las concentraciones al nivel normativo, para las comunas de Calama y de Copiapó y Tierra Amarilla, durante un año, estos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 3: Delta de casos y beneficios valorizados por el cumplimiento normativo.

Fundición	$\Delta$ Cáncer	$\Delta$ Mortalidad	Beneficios
	[casos/año]	[casos/año]	[UF/año]
Calama	<b>0,19</b>	<b>3,9</b>	<b>77.502</b>
Copiapó y Tierra Amarilla	<b>0,41</b>	<b>12</b>	<b>234.146</b>
<b>Total</b>	<b>0,68</b>	<b>15,9</b>	<b>311.648</b>

Fuente: elaboración propia en base a MMA (2022)

Los beneficios presentados anteriormente consideran aquellos asociados a la reducción de arsénico dados por la reducción de casos de cáncer ( $\Delta$  Cáncer en Tabla 3) y a la cuantificación de casos asociados a co-beneficios por reducción de  $MP_{2,5}$  para los cuales se le atribuyen distintos efectos de la reducción de casos de mortalidad ( $\Delta$  Mortalidad en Tabla 3) siendo estos últimos un 97% de los beneficios cuantificados.

### 3. Conclusiones.

La estimación de los costos y beneficios de la NPCA de arsénico arroja una relación de 0,7 si bien este valor es mayor que cero y se observa que el proyecto tiene costos mayores a los beneficios, es importante considerar que son solo 3 comunas las que presentan superaciones que, bajo el escenario de evaluación del AGIES generarán reducciones. Considerando la magnitud de la población expuesta en general los análisis de costo y beneficio en estos casos arrojarán beneficios bajos, dada por la cantidad de población, sin embargo, esto no significa que la NPCA no proteja a la salud de la población o que no cumpla con el objetivo de protección ambiental.

Respecto de los costos y tal como se mencionó en el informe, estos ascienden 476.607 UF/año considerando la implementación de medidas de abatimiento para las fundiciones de Chuquicamata y Hernan Videla Lira, así como los costos de fiscalización asumidos por la SMA.

Si bien esta norma cuenta con beneficios cuantificables para arsénico, su mayor efecto se produce por la reducción de casos de mortalidad asociados a  $MP_{2,5}$ . correspondiente a un 97% de los beneficios para la población, los cuales están dados por la disminución de efectos crónicos o de larga exposición asociados al cáncer producidos por arsénico y a efectos en la mortalidad prematura por distintas causas para  $MP_{2,5}$  (Paros cardio-respiratorios, ataques cardíacos, etc.). si bien los beneficios cuantificados corresponden a 311.648 UF/año, existen innumerables beneficios no cuantificados dentro de la normativa, tales como; la implementación de un límite superior de calidad de aire para la población, el cumplimiento de requerimientos ciudadanos, la coherencia regulatoria al acompañar normas de Emisión y de calidad para resguardar la salud de la población, la mejora de la imagen país al implementar recomendaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) entre otras.



## 4. Bibliografía

- 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.
- MMA (2022) Antecedentes para la elaboración de una Norma Primaria de Calidad del Aire para Arsénico y revisión de la Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico. preparado por DICTUC para Ministerio del Medio Ambiente
- Fisher, A. (1991). "Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees."
- 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). Desarrollo de Modelo Genérico para Evaluación de Planes de Prevención y de Descontaminación Ambiental para Aire, Preparado por GreenLabUC 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.
- MIDESO, 2018. Precios Sociales 2018.
- SMA 2021. Resolución Exenta N° 2581 "Fija programa de Fiscalización Ambiental de Normas de Calidad Ambiental para el Año 2021" disponible en [RESOL EXENTA N 2581 SMA.PDF](#)

## 5. Anexos

### 5.1 Metodología de cálculo de Costos

Respecto al cálculo de costos, estos se estiman considerando el principio de la minimización de costos, esto quiere decir, generar la mayor reducción de las emisiones al menor costo posible, para esto se consideran dos escenarios de abatimiento de emisiones a través de medidas de abatimiento de arsénico, o costos asociados a la gestión de la producción dentro de las fuentes emisoras.

El método de selección de las medidas de mitigación busca simular el comportamiento de los privados que deciden qué medidas de mitigación implementar en las distintas fuentes. Para ello se considera que los costos son incurridos por los privados, mientras que los beneficios en salud no son directamente percibidos por quienes toman las decisiones, de esta forma la simulación de la decisión privada se basa en minimizar los costos, sujetos al cumplimiento de la norma de calidad. De esta forma, las medidas se agrupan en *paquetes*, los cuales resultan en determinados costos y reducciones, seleccionando aquel *paquete* con menor costo que cumpla con el límite de los escenarios propuestos de NPCA. Matemáticamente, lo anterior se expresa en la Ecuación 2.

$$\text{Min}\{ \text{Costos Totales} = \sum_{\substack{p \in \text{medidas en paquete} \\ f \in \text{fundición}}} \text{Costo Medida}_{p,f} \}$$

Ecuación 2

s. a.

$$(1) \text{Emisión}_{f,p} = \text{Emisión}_f^{\text{sin paquete}} - \sum_{p \in \text{medidas en paquete}} \text{Reducción}_{p,f}$$

$$(2) \text{Concentración}_{l,p} = \frac{\text{Emisión}_{f,p}}{FE C_{f,l}}$$

$$(3) \text{Límite Concentración}_{\text{Esc.NPCA}} \geq \text{Concentración}_{l,p}$$

Donde,

*f*: fundición

*p*: paquete de medidas

*l*: localidad

*Esc NPCA*: Escenario de NPCA

Los costos de inversión se anualizan según la vida útil del proyecto. Los costos de operación y mantención son calculados según su requerimiento anual, por lo que se suman al costo de inversión anualizado. Así, se obtiene el costo total por año que deberá ser considerado.

En el caso de la evaluación de una NPCA, debido a que no existe un horizonte de evaluación definido, ya que estas pueden mantenerse en el tiempo, la anualización de los costos resulta crucial para poder realizar una evaluación bajo un mismo valor económico.

Finalmente, se calcula el valor anualizado de la inversión Ecuación 3, este valor considera una tasa de descuento del 6% (MIDESO, 2018) en los sucesivos períodos de evaluación.

$$Valor\ Anualizado = \sum_{n=0}^n \frac{Inversión}{(1+r)^n} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

Inversión: Costos de adquisición del equipo y/o costo de operación & mantención

r: Tasa de descuento (6%).

n: Numero de períodos del pago (vida útil)<sup>4</sup>.

### 5.1.1 Medidas de abatimiento a implementar

Tabla 4: Medidas de abatimiento consideradas para cada fundición.

Tipo de tratamiento	Chuquicamata	HVL
Flotación de escorias		Sí
Captura y tratamiento sangrado reactor	Sí	
Captura secundaria en boca del reactor		Sí
Captura techo en reactor	Sí	
Captura terciaria en CPS	Sí	
ESP húmedo en horno anódico	Sí	

Fuente: elaboración propia en base a MMA (2022)

<sup>4</sup> Se consideró una vida útil de 10 años.

## 5.2 Metodología de Beneficios en Salud

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de Arsénico, y MP<sub>2,5</sub>, para el cual se han encontrado en la literatura internacional, efectos crónicos para la generación de Cáncer para Arsénico y otros efectos de mortalidad para MP<sub>2,5</sub>.

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:

$\Delta \text{Efecto}_{pj}$ : Cambio en efecto en salud j debido al delta de concentración del contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>]

$\beta_{pj}$ : Coeficiente de riesgo unitario del efecto en salud j y contaminante p [(ug/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>]

$\Delta C_{pi}$ : Cambio en concentración de contaminante p en ubicación i [ug/m<sup>3</sup>]

$P_{ijp}$ : Población i expuesta al contaminante p que puede sufrir efecto en salud j [habitantes]

$Y_{0j}$ : Tasa de incidencia base [casos / (habitantes- año)]

Al linealizar<sup>5</sup> 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:

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

<sup>5</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

Dónde:

**Beneficio<sub>p</sub>:** Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de p, en este caso, Arsénico y MP<sub>2,5</sub>

**VU<sub>j</sub>:** Valoración unitaria de cada efecto *j* evaluado [UF/caso]

El detalle de los valores utilizados se encuentra en (MMA 2022).

### 5.2.1 *Coefficientes de Dosis-respuesta.*

Para efectos de este estudio se consideraron los siguientes valores de riesgo de cáncer para Arsénico, considerando el criterio de toxicidad Inhalation Unit Risk (IUR) (ng/m<sup>3</sup>)-1 Considerando el valor de la US-EPA:

Tabla 5. Valores de riesgo unitario para arsénico (Riesgo/Concentración)

Fuente	Valor
US-EPA	0,0000043

Fuente: elaboración propia en base a MMA (2022)

Por su parte los coeficientes de riesgo unitario empleados para MP<sub>2,5</sub> para distintas causas corresponden a:

Tabla 6: Coeficientes de riesgo unitario en 1/ug/m3 para Mp2,5

<b>Causa</b>	<b>MP<sub>2.5</sub></b>
<b>Mort-All-30+</b>	0,009464859
<b>HA-CVD-18-64</b>	0,0014
<b>HA-CVD-65+</b>	0,00189
<b>HA-RSP-65+</b>	0,00139
<b>HA-CLD-18-64</b>	0,0022
<b>HA-Asth-&lt;65</b>	0,003323789
<b>ERV-Asth-All</b>	0,00139
<b>ERV-Asth-0-14</b>	0,005
<b>ERV-Asth-65+</b>	0,011
<b>WLD-All-18-64</b>	0,0046

Fuente: elaboración propia en base a MMA (2022)

### 5.3 Caracterización de concentraciones 2020-2035.

 Tabla 6: Escenario de concentraciones en ng/m<sup>3</sup> de Línea Base 2020-2035.

Comuna	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Calama	29,4	30,6	39,6	39,6	39,6	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9	40,5	40,7	40,7	40,7	40,7
Chiu-Chiu	5,1	5,2	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
La Negra	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	42,7	42,9	42,9	42,9	42,9
Antofagasta	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
El Salvador	5,2	5,4	5,8	5,8	5,8	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Potrillo	30,3	31,6	35,1	35,1	35,1	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	35,9	36,1	36,1	36,1	36,1
Copiapó	54,2	54,2	58,8	58,8	58,8	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	61,2	60,4	60,8	60,8	60,8	60,8
Tierra Amarilla	34,4	34,4	37,2	37,2	37,2	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,1	38,4	38,4	38,4	38,4
Quintero*	8,4	4,7	4,7	4,7	4,7	6,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,1	5,0	4,7	4,7	4,7
Puchuncaví*	5,4	4,7	4,7	4,7	4,7	5,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,8	4,7	4,7	4,7
Ventanas*	3,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,9	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	2,5	2,4	2,4	2,4
Cáteme	14,3	14,3	14,8	14,8	14,8	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Panqueque	5,1	5,1	5,6	5,6	5,6	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Llayllai	2,8	2,8	3,1	3,1	3,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Coya	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,5	6,6	6,6	6,6	6,6

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2022)

\*Considera la eliminación del aporte de la fundición ventanas.

Tabla 7: Aporte fundición ventanas que es eliminado de la línea base.

Fundición ventanas	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Quintero	46,2	46,2	46,2	46,2	46,2	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	47,4	47,7	47,7	47,7	47,7
Puchuncaví	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,8	8,9	8,9	8,9	8,9
Ventanas	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2022)

 Tabla 7: delta de concentración en ng/m<sup>3</sup> por comuna

Comuna	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Calama	6,4	7,6	16,6	16,6	16,6	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,5	17,7	17,7	17,7	17,7
Chiu-Chiu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
La Negra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Antofagasta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
El Salvador	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Potrillo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Copiapó	31,2	31,2	35,8	35,8	35,8	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	37,4	37,8	37,8	37,8	37,8
Tierra Amarilla	11,4	11,4	14,2	14,2	14,2	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,1	15,4	15,4	15,4	15,4
Quintero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Puchuncaví	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ventanas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Catemu	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Panqueque	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Llailay	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coya	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2022)



## 5.4 Anexo 3: Ficha resumen AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General de impacto Económico y Social del Anteproyecto de la Norma de Calidad Primaria de Aire para Arsénico
	Versión de AGIES	Versión 1
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Anteproyecto Norma Primaria de Calidad de Aire para Arsénico
	Tipo de regulación	Norma Primaria de Calidad Ambiental
	Fecha de término del AGIES	Diciembre 2022
	Alcance geográfico	Nacional
	Instrumento nuevo o revisión	Nueva Norma
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio, Beneficios salud en base a (MMA 2013)
	Normativas consideradas de línea base	Decreto 28 de 2013, establece Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes emisoras de Arsénico.
	Nivel de evaluación de beneficios	Identificación de beneficios
	Tasa de descuento	6%
	Años de evaluación	2020-2035
Resultados	Costos estimados en UF/Año	476.607
	Beneficios estimados en UF/año	311.648

Fuente: Elaboración propia