



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

---

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL  
ANTEPROYECTO DE LA NORMA DE CALIDAD PRIMARIA DE AIRE PARA  
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.

---

*Febrero de 2022*

## Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como planes de prevención y/o descontaminación ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (MINSEGPRES, 1994) y en el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (DS N° 38/2012 del MMA), se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la propuesta regulatoria, de tal forma 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 (DEA) del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración del AGIES de una norma, 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, de tal forma de apoyar al CMS 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 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 pueden ser, por ejemplo, geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde al AGIES del Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) de la Norma Primaria de Calidad del Aire (NPCA) para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), la cuál es de carácter nacional.

Figura 1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

Este análisis evalúa el cumplimiento de la Norma propuesta en el Anteproyecto y estima los costos asociados a monitoreo y fiscalización, así como los costos de un potencial Plan de Descontaminación Ambiental, en caso que los niveles normados son superados. Por otra parte, se estiman los beneficios que sostendría la NPCA como un potencial PDA. Esta información es sustancial para el proceso de participación ciudadana, en donde la población debe hacer sus observaciones con toda la información disponible del proceso.

Los resultados presentados corresponden al límite regulatorio establecido a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, tales como Participación Ciudadana, Consejos Consultivos y Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.

## Resumen

El Ministerio del Medio Ambiente, a través de la Resolución Exenta N° 415, del 19 de mayo de 2020, inició la elaboración del Anteproyecto de Norma Primaria de Calidad Ambiental (NPCA) para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

De acuerdo a la ley 19.300 en su artículo 32, las NPCA son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población. Hay que considerar que, las NPCA, son de carácter nacional, esto quiere decir que son aplicables a todo el territorio nacional.

En este documento se presenta la evaluación de costos y beneficios para el Anteproyecto de la NPCA de Compuestos Orgánicos Volátiles. La norma se ha orientado en regular los niveles del compuesto orgánico volátil benceno en el aire, ya que éste es un reconocido contaminante cancerígeno y por ende, de preocupación mayor para la salud pública. Para la norma se proponen los siguientes límites y cumplimientos:

- Se propone un límite normativo de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como concentración anual del compuesto orgánico volátil benceno desde la entrada en vigencia y de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a partir del tercer año.
- Se considerará sobrepasada la NPCA, cuando el promedio anual sea mayor o igual al valor normado.

Considerando que a nivel país no se cuenta con medición continua para el benceno en aire, pero que se requiere establecer esta normativa, se informa que los datos usados para el presente informe provienen de mediciones realizadas durante el año 2020 con tubos pasivos en diferentes ciudades país. Con tal información se evaluaron los resultados del AGIES, los cuales indican lo siguiente:

- Los límites de concentración anual de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , asociados al cumplimiento de la norma<sup>1</sup>, no son sobrepasados en el territorio nacional, por lo que se infiere un cumplimiento total de la NPCA.
- Debido a que de acuerdo a las mediciones por tubos pasivos no se superan los límites propuestos por la NPCA, no existen costos de abatimiento que pudiesen afectar a fuentes emisoras de benceno, debido a que, con la información evaluada no se gatillaría un potencial Plan de Descontaminación Ambiental.

---

<sup>1</sup> Valor promedio anual de los datos medidos por estación o campaña.

- Los costos de la NPCA incluyen la implementación de 4 estaciones de monitoreo continuo a nivel nacional y de 18 puntos (comunas) con muestreos con tubos pasivos. Estos costos en conjunto con los costos de monitoreo y de fiscalización, ascienden a US\$ 2,10 millones en valor presente<sup>2</sup>.
- Debido a que no se superarían los límites de la NPCA, no existen beneficios cuantificables o valorizables económicamente asociados a la implementación de la NPCA. Sin embargo, se identifican beneficios cualitativos, que corresponden a:
  - Cumplimiento de los acuerdos generados a través de los Programas de Recuperación Ambiental y Social (PRAS), los cuales se proponen la elaboración de esta normativa.
  - Cumplimiento del artículo 51 del D.S. N°105 de 2018 del Ministerio de Medio Ambiente, Plan de descontaminación de Concón, Quintero y Puchuncaví.
  - Implementación de una normativa ambiental que protegerá la salud de las personas asegurando un valor de protección acorde con los niveles propuestos por la Comunidad Europea.
  - Aumento en el monitoreo y obtención de mayor data para futuras revisiones de la NPCA.
  - Mayor justicia social y cuidado ambiental para la población, comunidad, territorios, y biodiversidad, entre otros.

Este análisis concluye que la NPCA para benceno, compuesto orgánico volátil (COVs) reconocido agente cancerígeno, es consistente con los compromisos del Ministerio del Medio Ambiente que buscan proteger la salud de la población, que promueve la equidad entre sus habitantes y que se enmarca en niveles de concentración acorde a las normas internacionales establecidas.

---

<sup>2</sup> 0,173 MM USD por año.

## ÍNDICE

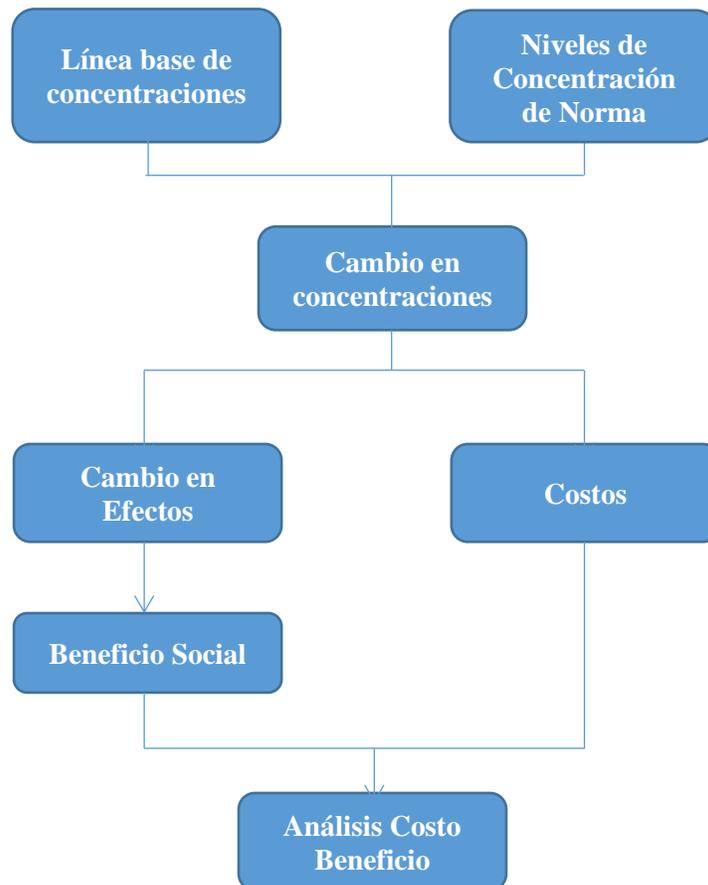
<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>1. METODOLOGÍA DEL AGIES .....</b>	<b>6</b>
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE CALIDAD DE LÍNEA BASE .....	8
1.2 CONCENTRACIONES .....	9
1.3 COSTOS Y BENEFICIOS .....	10
<b>2. RESULTADOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE CALIDAD NACIONAL DE COVs.....	13
2.2 COSTOS DE MONITOREO Y FISCALIZACIÓN .....	14
2.3 BENEFICIOS .....	15
<b>3. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>17</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>18</b>
<b>5. ANEXOS.....</b>	<b>19</b>
5.1 ANEXO 1: METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN .....	19
5.2 COSTOS DE CAMPAÑAS DE TUBOS PASIVOS .....	20
5.3 METODOLOGÍA DE BENEFICIOS EN SALUD.....	20
5.3.1 <i>Coefficientes de riesgo unitario</i> .....	21
5.4 ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES 2020.....	23
5.5 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, aportado 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) un modelo de valoración de la reducción de concentraciones. En la Figura 2 se muestra el diagrama que representa la metodología utilizada para la evaluación (MMA 2013).

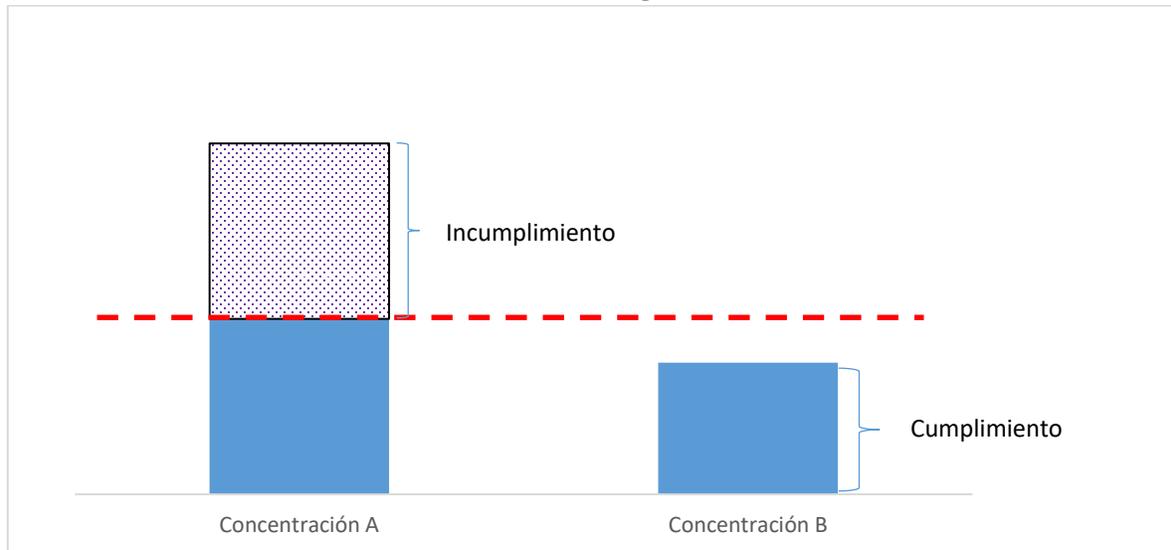
Figura 2: Diagrama metodológico para la evaluación del AGIES. Análisis costo-beneficio.



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 a 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>3</sup>.

## 1.1 Antecedentes históricos de calidad de Línea Base

Las campañas de medición de COV's realizadas por el MMA con la colaboración del Swedish Environmental Research Institute (IVL) contemplaron el uso de tubos pasivos que entregan una referencia de los niveles de concentración para periodos cortos de tiempo, menores a un mes. Dado lo anterior, estos datos no permiten concluir que en Chile se cumple o no cualquier referencia de norma en base anual. En el presente AGIES estos datos han sido utilizados en forma referencial para los niveles de benceno a lo largo del país, sin embargo, se debe dejar claramente establecido que no contamos con información continua en base anual para saber el efecto real de una norma anual como la propuesta. Por ello, se espera que el primer objetivo de la norma sea generar esta información para las zonas más sensibles (aquellas donde se estime que por las actividades presentes debería observarse mayores niveles de estos compuestos). Por todo lo anterior, se espera que después de los primeros cinco años de vigencia de la norma, se pueda contar con datos mucho más robustos para revisar y reformular la norma que ahora se propone.

Por otro lado, las campañas de monitoreo históricas en el gran Concepción<sup>4</sup> se iniciaron en 1998 y se han mantenido hasta la fecha (exceptuando el año 2010 en el cual no se realizaron mediciones). La data histórica corresponde a mediciones con tubos pasivos, durante un período de 2 semanas consecutivas, dos veces por año, principalmente una campaña en la temporada de invierno y otra en la temporada estival. No se poseen antecedentes históricos para campañas en otras ciudades del país.

El Gráfico 2 representa los valores históricos de concentración de benceno ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) calculado como un promedio anual<sup>5</sup>, para el gran Concepción. Se puede observar que las concentraciones presentan una tendencia a la disminución progresiva desde valores por sobre los  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los años 2001, 2002, 2005 y 2006, a valores bajo los  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los años 2016, 2017, 2019 y 2020.

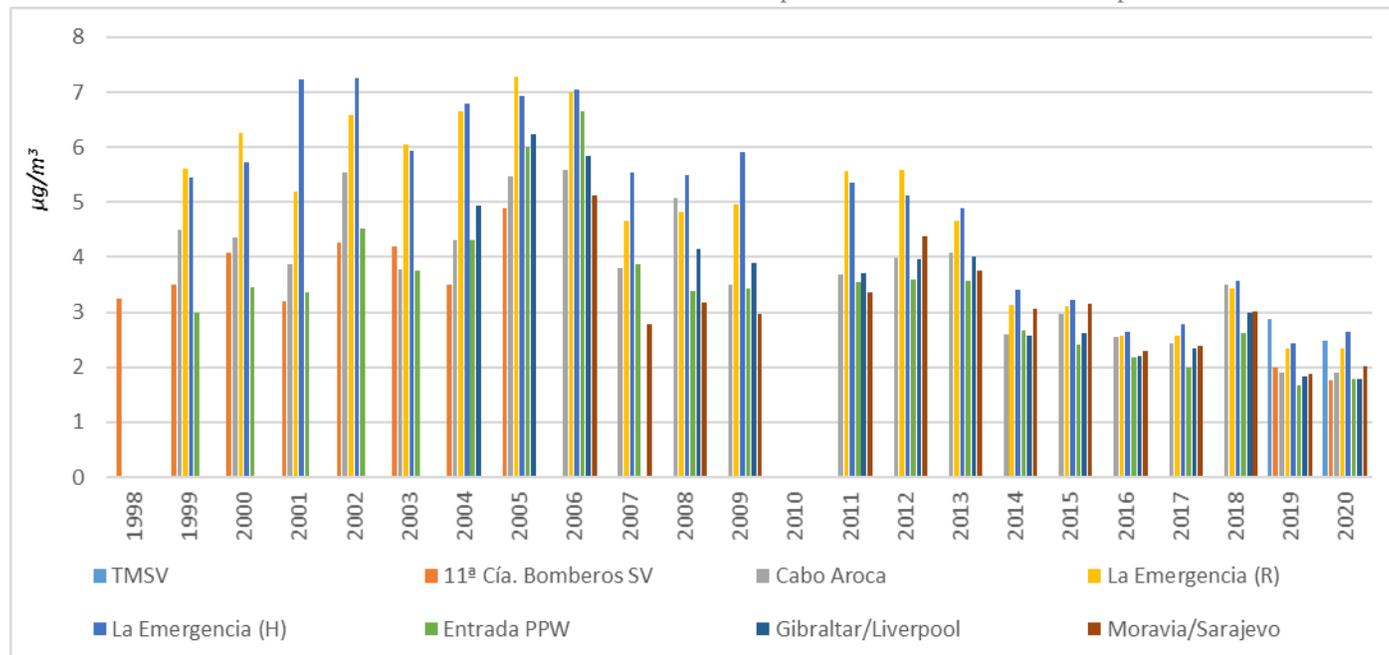
---

<sup>3</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.

<sup>4</sup> No se poseen antecedentes históricos para campañas en otras ciudades del país.

<sup>5</sup> ver anexo 5.4 para valores 2020.

Gráfico 2: Promedios anuales históricos de calidad para monitoreos en Gran Concepción



Fuente: Elaboración Propia

## 1.2 Concentraciones

El término COV<sub>s</sub> agrupa un amplio grupo de compuestos químicos, incluyendo los contaminantes atmosféricos denominados BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno). Estos se presentan en mayor abundancia que otros compuestos, especialmente en atmósferas urbanas. Dentro de los BTEX, el benceno es el único reconocido como agente cancerígeno, y es predominante en estudios epidemiológicos, por lo mismo, es aquel que ha sido utilizado para generar normas internacionales de calidad del aire en más de 40 países (CMM, 2021)<sup>6</sup>.

Este AGIES evalúa los datos de calidad para el compuesto orgánico volátil benceno, considerando datos de campañas de monitoreo realizadas en las principales ciudades del país, no se cuenta con mediciones continuas. El análisis de cumplimiento se realiza considerando la información más reciente, que corresponde a campañas de monitoreo de 2 semanas, por medio de muestreos con tubos pasivos durante el año 2020. Los datos utilizados, corresponden a información del análisis químico efectuado a las muestras colectadas con tubos pasivos, en dos meses distintos del año, principalmente una medición se realiza en primavera-verano y otra en otoño-invierno, a fin de conocer la variabilidad estacional. La Tabla 4 del Anexo 5.2, presenta para cada región y comuna, los meses en que se realizaron las campañas de monitoreo.

<sup>6</sup> [catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=e687437b-0b93-4d08-9231-3b124a6b9efa&fname=Informe Final estudio AGIES COV<sub>s</sub>.pdf&access=public](https://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=e687437b-0b93-4d08-9231-3b124a6b9efa&fname=Informe%20Final%20estudio%20AGIES%20COVs.pdf&access=public)

Al tratarse de una norma de calidad anual ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la entrada en vigencia y de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 3er año), el análisis de las concentraciones se realiza con el promedio de los datos de las campañas realizadas durante un año, en este caso el 2020. Una vez que se obtiene este promedio, se analiza su valor respecto a la norma a implementar.

Para calcular la reducción de concentración de benceno que implica cumplir la norma primaria como concentración anual se calcula la diferencia de concentración requerida para alcanzar el nivel establecido por la NPCA como concentración anual ( $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Esto se expresa en la siguiente ecuación.

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

Donde,

$\Delta C_{\text{benceno},i}$ : Reducción de concentración de benceno requerida en comuna “i” para cumplir NPCA en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$C_{LB,i}$ : Concentración de línea base de benceno para la comuna “i” en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$C_{\text{Norma}}$ : Límite de concentración anual de benceno establecido por NPCA en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Además, se considera una evolución constante de la concentración de benceno para las mediciones realizadas el 2020, esto quiere decir que se evaluará bajo el mismo valor de calidad la norma de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la norma de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esto debido a que no es posible realizar una proyección al tercer año, al no contar con una data de años anteriores que permita conocer la evolución de la concentración en cada una de las comunas monitoreadas.

### 1.3 Costos y Beneficios

En el caso de existir superaciones a la NPCA para el compuesto orgánico volátil benceno, la metodología a utilizar para la estimación de beneficios considera los efectos en salud asociados a leucemia (efecto crónico) por el cambio en las concentraciones ambientales de benceno.

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>7</sup>. Para más detalle respecto de la metodología de beneficios en salud, ver anexo 5.2.

<sup>7</sup> Beneficios salud en base a:

Los coeficientes de riesgo se presentan en anexos 5.3.1. Específicamente, este análisis valora los casos de leucemia y los costos de su tratamiento<sup>8</sup>.

Existen beneficios que no son valorizados, como imagen país, externalidades positivas asociadas a la educación ambiental, cumplimiento de compromisos adquiridos con la OCDE, mayor justicia ambiental para la sociedad y los territorios y protección de la salud de la población bajo el principio precautorio.

Respecto al cálculo de costos, estos se estiman considerando los costos de inversión y de operación y mantenimiento de las tecnologías a aplicar. Existen catastradas tecnologías de abatimiento por sectores de inventario, esto quiere decir que se poseen costos para:

- Sector Residencial: recambio de calefactores y aislación térmica.
- Sector industrial: incorporación de tecnologías de abatimiento.
- Sector quemas agrícolas: manejo de rastrojos y cero labranzas.
- Sector transporte: Adopción acelerada de vehículos eléctricos.

Respecto de la estimación de costos, se estimaron utilizando costos medios (MM USD) asociados a reducir un microgramo de benceno por metro cúbico (Ecuación 2). Los costos evaluados representan, en la práctica, costos de abatimiento potencial para lograr el valor permisible requerido por la norma.

$$Costos_{benceno,i} = CMe_{benceno} \cdot \Delta C_{benceno,i} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

$Costos_{benceno,i}$  Costos<sub>MP<sub>10</sub>,i</sub>: Costo para la comuna “i” asociado al cumplimiento de NPCA de benceno (MMUSD).

$CMe_{benceno}$ : Costo medio asociado a la reducción de benceno (MM USD por ug/m<sup>3</sup>).

$\Delta C_{benceno,i}$   $CMe_{benceno} \cdot \Delta C_{benceno,i}$ : Reducción de concentración de benceno en comuna “i” asociada al cumplimiento de norma anual de benceno(ug/m<sup>3</sup>).

- 
- 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>8</sup> Principalmente quimioterapias.

Cabe destacar que las tecnologías a implementar en cada una de las comunas dependerán de la representación de los distintos sectores del inventario (residencial, transporte, quemadas agrícolas, industria) en la o las comunas a implementar un PDA.

Respecto de los costos asociados se consideran 4 tipos de costos:

1. Inversión en equipos de medición continuos.
2. Inversión en métodos de medición discretos (tubos pasivos).
3. Costos de monitoreo (gestión, mantención y operación).
4. Costos de fiscalización.

Los costos de adquisición de equipos de medición consideran el costo de compra de los equipos de medición que serán instalados en estaciones de monitoreo, el costo suma la inversión (135 millones de pesos chilenos) por estación, con una vida útil de 10 años<sup>9</sup> y se considera la implementación de 4 de estas estaciones a nivel nacional.

Los costos de inversión de monitoreos discretos con la tecnología de tubos pasivos, para la implementación del monitoreo a través de campañas realizadas dos veces por año, en 18 puntos (comunas) del país, considera la suma del valor unitario y monitoreo para tubos pasivos (4.2 millones en pesos chilenos).

Adicionalmente se consideran los costos de medición y fiscalización, el detalle de la evaluación de estos costos se encuentra en el anexo 5.1 y 5.2.

---

<sup>9</sup> Valor promedio de vida útil de equipos de estaciones de la red SINCA.

## 2. Resultados

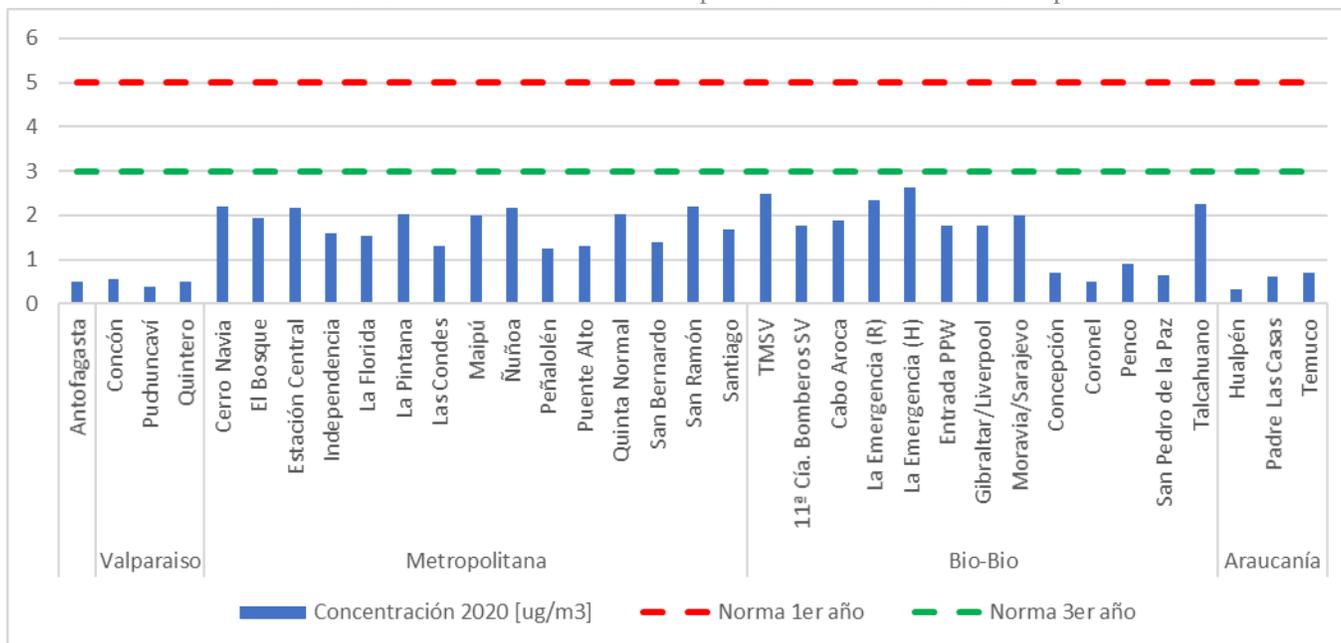
A continuación, se presenta un análisis de las campañas de monitoreo realizadas entre los años 1998 al año 2020 con el objetivo de conocer la evolución de las concentraciones el compuesto orgánico volátil benceno a través del tiempo. Con un especial énfasis en los años 2020, año que servirán para la evaluación de la NPCA según lo reglamentado en el artículo 3, del Anteproyecto de Norma Primaria de Calidad de aire para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

Adicionalmente y con un enfoque en el análisis metodológico presentado en el capítulo 1 se evaluarán los potenciales cumplimientos e incumplimientos, para luego evaluar los costos de monitoreo y fiscalización de la NPCA.

### 2.1 Análisis de cumplimiento de Calidad Nacional de COVs

Los resultados obtenidos del análisis de cumplimiento de la NPCA propuesta se representan en el Gráfico 3. Se puede observar que los valores promedios de concentraciones de las campañas de monitoreo realizadas a nivel nacional para el año 2020 arrojan valores bajo los límites propuestos de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (línea roja punteada) y de 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (línea verde punteada).

Gráfico 3: Concentraciones Anuales campañas de monitoreo 2020 todo el país.



Fuente: Elaboración propia

Considerando los antecedentes anteriormente expuestos, se puede observar que **no existen superaciones en los promedios de las concentraciones anuales en relación a la información**

**levantada en las distintas campañas de monitoreo para los datos obtenidos el año 2020, esto significa que el cambio en concentraciones es cero**, razón por lo cual se cumplen los requisitos establecidos en el artículo N°3 del Anteproyecto que considera que se sobrepasará la norma cuando el promedio anual sea mayor al límite normativo propuesto por la NPCA.

## 2.2 Costos de monitoreo y fiscalización

Se estimaron los costos de monitoreo y fiscalización para cuatro estaciones a nivel nacional, localizadas en ciudades donde se evidenciaron mayores concentraciones de benceno. Estas estaciones serán de carácter permanente y estarán operadas por la red de monitoreo del Estado a cargo del Ministerio del Medio Ambiente, conjuntamente con fiscalizaciones de la implementación de la NPCA a realizarse por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Los costos de inversión se estiman a través de la metodología señalada en Anexos 5.1, en CLP\$ 135 millones por equipo de monitoreo, considerando la implementación de cuatro estaciones de monitoreo a nivel nacional.

Adicionalmente, se considerará la implementación de monitoreos discretos con la tecnología de tubos pasivos, los cuales se realizarán un año calendario, dos veces al año, en 18 puntos de diferentes comunas, considerando dos tubos pasivos por estación. El valor unitario por medición corresponde a CLP\$ 4.2 millones, considerando los 18 puntos de medición el valor final considerado es de CLP\$ 75,6 millones al año (ver Anexo 5.2).

Los costos de operación y mantención de las estaciones corresponden a CLP\$ 5 millones en un período de 5 años<sup>10</sup>. Se considera una vida útil del equipo de 10 años, aplicando una tasa de descuento de un 6% (MIDESO 2018).

Los costos de fiscalización han sido obtenidos a través de los costos de fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente 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 para monitoreo y fiscalización en US\$ millones<sup>11</sup> por año se presentan en la siguiente tabla.

---

<sup>10</sup> Corresponden a valores promedios de operación y mantención de la red de monitoreo SINCA.

<sup>11</sup> Valor del dólar 746 (CLP/USD) y corresponden a un promedio móvil entre Octubre de 2020 a Octubre de 2021.

Tabla 1 Costos de inversión, monitoreo y fiscalización de la NPCA. En US\$ millones al año

<b>Tipo de costo</b>	<b>Valor presente (MM USD)</b>	<b>Valor Anualizado (MM USD/año)</b>
Inversión estaciones	\$0,78	\$0,10
Monitoreo con tubos pasivos	\$0,80	\$0,10
Operación y Mantenición	\$0,06	\$0,01
Fiscalización	\$0,47	\$0,06
<b>Total</b>	<b>\$2,10</b>	<b>\$0,27</b>

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayor parte de los costos anuales (38%) corresponden a los costos por la implementación de mediciones discretas con tubos pasivos, un 37% corresponden a la compra (inversión) de equipos de monitoreo continuo, a su vez un 4% de estos costos corresponden a operación y mantenimiento, mientras que un 22% corresponden a costos de fiscalización.

El 100% de los costos corresponden al Estado, de estos un 78% corresponden a costos asociados al MMA y un 22% a costos asociados a la SMA.

### 2.3 Beneficios

El benceno produce efectos sobre la salud de las personas. Antecedentes epidemiológicos y toxicológicos demuestran una relación directa entre la exposición a altos niveles de benceno sobre efectos crónicos asociados a cáncer (leucemia). Por su parte los efectos agudos, si bien han sido estudiados, requieren de niveles muy altos de concentración (por ejemplo: la LC<sub>50</sub><sup>12</sup> corresponde a valores entre los 15.000 a 44.000 µg/m<sup>3</sup> de benceno, causando depresión del sistema nervioso central y pérdida de conciencia (CMM, 2021) dado los altos niveles de concentración requeridos para alcanzar estos efectos (15.000 a 44.000 µg/m<sup>3</sup> de benceno). Cabe destacar que, no se han registrado a nivel nacional niveles de benceno que pudieran generar efectos agudos en la salud de las personas.

Dado que el análisis de cumplimiento de la regulación arrojó que no existen excedencias de benceno a nivel nacional, y que por consiguiente no existirán reducciones de concentraciones afectas a la normativa, la metodología tradicional de evaluación de este AGIES no puede cuantificar ni valorizar disminución de casos (mortalidad por cáncer), razón por lo cual el beneficio económico cuantificable de la NPCA es cero.

Sin embargo, es importante señalar que existe una gran incerteza respecto al comportamiento que se podría observar a través de las mediciones continuas y por otro lado una variada gama

<sup>12</sup> Concentración que genera la mortalidad del 50% de los individuos expuestos, utilizado en ratones y ratas.

de beneficios que no pueden ser cuantificados económicamente atribuibles a la implementación de esta NPCA, estos beneficios son identificados y listados a continuación.

- Protección de la salud de la población a través del establecimiento de un límite regulatorio en niveles que permitan asegurar la protección de la salud de la población, acorde con los niveles propuestos por la Comunidad Europea (límites normativos idénticos a normativas internacionales).
- Implementación de monitoreos continuos y ampliación de la red de monitoreos discretos a nivel nacional, esto permitirá un mayor control de las concentraciones de benceno en diversas ciudades del país y permitirá a la autoridad ambiental una mayor obtención de datos de concentraciones de otros compuestos orgánicos volátiles para futuras revisiones de la NPCA.
- La emisión de COVs facilitan procesos fisicoquímicos asociados a la formación de material particulado secundario y de ozono troposférico, por lo que indirectamente su regulación induciría a fortalecer el control sobre concentraciones de MP2,5 y ozono.
- Mayor Justicia Social y Ambiental para la población y los territorios (equidad ambiental) debido a la implementación de normativas ambientales en territorios donde históricamente se ha luchado por regular la emisión de diversos contaminantes que afectan a la salud de la población.
- Coherencia regulatoria a nivel nacional, debido a la implementación de un conjunto de instrumentos de gestión ambiental que permiten regular la calidad del aire desde distintos objetivos (norma de calidad, normas de emisión, planes de descontaminación).
- Mejora de la imagen País (recomendaciones OCDE).

Finalmente, es importante señalar que si bien no existen beneficios económicos cuantificables asociados a esta normativa, la implementación generará beneficios sociales a la población, que, por el solo hecho de su existencia son altamente deseables, alineándose con el principio precautorio de los instrumentos de gestión ambiental señalado en la Ley de Bases del Medio Ambiente 19.300.

### 3. Conclusiones.

La implementación de la norma implica costos de monitoreo y fiscalización los cuales han sido estimados en US\$ 2,10 millones en valor presente<sup>13</sup>, los cuales corresponden a inversión del Estado en su totalidad. Estos costos permitirán aumentar la red de vigilancia implementando estaciones de monitoreo permanente en las principales ciudades del país.

Respecto de las superaciones se entiende que el valor de la norma de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y de 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (a partir del 3er año) no es superada (según las campañas puntuales realizadas), por ende, se considera que corresponde a una normativa que expone el principio de precaución, y se suma a una batería de normativas ambientales para la protección de la salud de la población.

Si bien esta norma no cuenta con beneficios cuantificables debido específicamente a las características del análisis de costos-beneficio utilizado en los AGIES, se reconocen beneficios no cuantificables, pero lo suficientemente importantes para ser considerados. Los beneficios identificados, corresponden a la implementación de un estándar de calidad ambiental que permita la protección de la salud de la población, la incorporación, de monitoreos continuos y discretos, la coherencia regulatoria, la equidad social, ambiental, territorial y la imagen país.

Por consiguiente, este AGIES recomienda la implementación de esta normativa por considerarse el benceno un compuesto orgánico volátil de preocupación para la salud pública, lo cual se evidencia en su regulación en más de 40 países bajo una norma de calidad del aire<sup>14</sup>. Así también, la implementación de esta normativa permitirá conocer y vigilar las concentraciones de benceno, no obstante también, la de otros compuestos orgánicos volátiles, lo cual resulta fundamental para la gestión ambiental del país en los próximos años.

---

<sup>13</sup> Se considera un horizonte de evaluación de 10 años y una tasa social de descuento del 6%, el valor del dólar corresponde a un promedio móvil de los meses de diciembre2020-diciembre2021 de 746 CLP.

<sup>14</sup> Abinaya Sekar, George K. Varghese, M.K. Ravi Varma (2019) Analysis of benzene air quality standards, monitoring methods and concentrations in indoor and outdoor environment. Heliyon, Vol 5, Issue 11.

#### 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.
- CMM, 2021. Centro Mario Molina “Antecedentes para la elaboración del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Norma Primaria de Calidad del Aire de Compuestos Organicos Volátiles (COVs)”
- 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 Anexo 1: Metodología de evaluación de costos de inversión, operación y mantención

Los costos de inversión, operación y mantención asociados a la implementación de estaciones de monitoreo continuas, corresponden a aquellos que se realizan al momento de la adquisición. Por su parte, los costos de operación y mantención consideran el costo que se incurrirá mientras el proyecto opere.

En la evaluación 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.

---

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

---

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>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Se consideró una vida útil de 10 años.

## 5.2 Costos de campañas de tubos pasivos

Tabla 2: Costos en Pesos Chilenos, para las campañas de tubos pasivos para cada una de las comunas a monitorear.

Comunas	costo por muestreo anual CLP\$/Año
Arica	\$4.200.000
Alto Hospicio	\$4.200.000
Tocopilla	\$4.200.000
Antofagasta	\$4.200.000
Copiapó	\$4.200.000
Huasco	\$4.200.000
Coquimbo	\$4.200.000
Rancagua	\$4.200.000
Curicó	\$4.200.000
Talca	\$4.200.000
Chillán	\$4.200.000
Los Ángeles	\$4.200.000
Temuco	\$4.200.000
Valdivia	\$4.200.000
Osorno	\$4.200.000
Pto. Montt	\$4.200.000
Coyaique	\$4.200.000
Punta Arenas	\$4.200.000
<b>Total</b>	<b>\$75.600.000</b>

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones con el “Swedish Environmental Research Institute”

## 5.3 Metodología de Beneficios en Salud

Los beneficios en salud derivan de cambios en concentraciones de benceno al ser el único de los BTEX, para el cual se han encontrado en la literatura internacional, efectos crónicos para la generación de Leucemia, no existen antecedentes de efectos agudos para ninguno de los BTEX.

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>]

$\beta_{pj}$ :	Coefficiente 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>16</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:

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

Dónde:

$\text{Beneficio}_p$ :	Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de $p$ , en este caso MP <sub>2.5</sub>
$VU_j$ :	Valoración unitaria de cada efecto $j$ evaluado [UF/caso]

El detalle de la metodología utilizada se encuentra en (CMM, 2021) “Antecedentes para la elaboración del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Norma Primaria de Calidad del Aire de Compuestos Organicos Volátiles (COVs)”.

### 5.3.1 Coeficientes de riesgo unitario

En la Tabla 3 Tabla 3 Coeficiente de riesgo unitario por grupo etario. Se presentan los valores de los coeficientes de riesgo unitario para Benceno, por población.

<sup>16</sup> Expansión de Taylor de primer orden de la función exponencial. La aproximación es razonable dado que el coeficiente de riesgo  $\beta$  es pequeño.

Tabla 3 Coeficiente de riesgo unitario por grupo etario.

<b>Efecto</b>	<b>Niños 0-14 años</b>	<b>Adultos 15-64 años</b>	<b>Adultos mayores + de 65 años</b>	<b>Total</b>
<b>Mortalidad [efecto/año/100.000 pp]</b>	28,4	64,53	17,96	30,27
<b>Mortalidad (%)</b>	0,003%	0,006%	0,002%	0,003%

## 5.4 Anexo 2: caracterización de concentraciones 2020.

Tabla 4: Región, comuna y mes de las campañas de monitoreo realizadas en el año 2020.

Región	Comuna	enero	marzo	julio	Agosto	octubre	noviembre
Antofagasta	Antofagasta	1				1	
Araucanía	Padre Las Casas		1				1
Araucanía	Temuco		1				1
Biobío	Concepción		1				1
Biobío	Coronel		1				1
Biobío	Hualpén		1				1
Biobío	Penco		1				1
Biobío	San Pedro de la Paz		1				1
Biobío	Talcahuano		1				1
RM	Cerro Navia			1			1
RM	El Bosque			1			1
RM	Estación Central			1			1
RM	Independencia			1			1
RM	La Florida			1			1
RM	La Pintana			1			1
RM	Las Condes			1			1
RM	Maipú			1			1
RM	Ñuñoa			1			1
RM	Peñalolén			1			1
RM	Puente Alto			1			1
RM	Quinta Normal			1			1
RM	San Bernardo			1			1
RM	San Ramón			1			1
RM	Santiago			1			1
Valparaíso	Concón	1			1		
Valparaíso	Puchuncaví	1				1	
Valparaíso	Quintero	1				1	
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>23</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Concentración  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio anual 2020 por campañas de monitoreo

<b>Campaña de Monitoreo</b>	<b>Concentración [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
Antofagasta	0,49
Concón	0,57
Puchuncaví	0,40
Quintero	0,51
Cerro Navia	2,19
El Bosque	1,94
Estación Central	2,17
Independencia	1,59
La Florida	1,53
La Pintana	2,02
Las Condes	1,31
Maipú	1,98
Ñuñoa	2,17
Peñalolén	1,23
Puente Alto	1,30
Quinta Normal	2,04
San Bernardo	1,39
San Ramón	2,20
Santiago	1,68
TMSV	2,48
11 <sup>a</sup> Cía. Bomberos SV	1,76
Cabo Aroca	1,89
La Emergencia (R)	2,35
La Emergencia (H)	2,64
Entrada PPW	1,78
Gibraltar/Liverpool	1,78
Moravia/Sarajevo	2,01
Concepción	0,71
Coronel	0,51
Penco	0,89
San Pedro de la Paz	0,65
Talcahuano	2,27
Hualpén	0,33
Padre Las Casas	0,60
Temuco	0,69

Fuente: Elaboración propia

### 5.5 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 Compuestos orgánicos Volátiles.
	Versión de AGIES	Versión 1
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Anteproyecto Norma Primaria de Calidad de Aire para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)
	Tipo de regulación	Norma Primaria de Calidad Ambiental
	Fecha de término del AGIES	Febrero 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 ( <u>MMA 2013</u> )
	Normativas consideradas de línea base	No considera Normativa de línea Base.
	Nivel de evaluación de beneficios	Identificación de beneficios
	Tasa de descuento	6%
	Reducción de concentraciones de parámetro por	0 µg/m <sup>3</sup> N
	Reducción de emisiones	0 ton/año
	Años de evaluación	2020
Parámetros	Valor del dólar	745.89 pesos/dólar
	Valor de la UF	30.381 pesos/UF
Resultados	Costos estimados en MM USD valor presente	2,10
	Beneficios estimados en MM USD (valor presente)	0

Fuente: Elaboración propia