

# Comité Operativo Ampliado (COA)

Revisión D.S. N°104/2018, de MMA NPCA SO<sub>2</sub>

Revisión D.S. N°22/2009, de MINSEGPRES NSCA SO<sub>2</sub>

SESIÓN N°2

29 de abril 2025

10:30 hrs





## TABLA SESIÓN N° 2

- 1) OBJETIVO DE LA SESIÓN
- 2) HITOS DEL PROCESO
- 3) PRÓXIMOS PASOS
- 4) PRESENTACIÓN ESTUDIO DE ANTECEDENTES





## **Objetivo de la sesión:**

Presentar los resultados del Estudio de Antecedentes para la revisión de ambos procesos normativos.



## HITOS RELEVANTES DEL PROCESO Y PRÓXIMOS PASOS

DS 38/2012 Reglamento Dictación Normas

Res. Ex. N° 706  
D.O. 28-07-2023  
**Inicio proceso**

1 Ampliación  
Res. Ex N° 2803  
**Plazo AP 28-07-2025**

60 días

120 días  
hábles

Programa  
Regulación  
Ambiental  
2024-2025

Anteproyecto

Norma primaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> Revisión D.S. N° 104, 2018 , MMA  
Norma secundaria de calidad del aire para SO<sub>2</sub> Revisión D.S. N° 22, 2009, MINSEGPRES

Consulta  
Pública

Proyecto  
Definitivo

Tramitación

Res. Ex. N° 1933/2024  
Prioriza iniciar y/o  
continuar

Aprobación CMS  
Firmas del DS  
Envío a CGR para Toma Razón  
Publicación DO

- 1 Estudio de Antecedentes
- 4 reuniones de Comité Operativo
- 1 reunión de Comité Operativo Ampliado

### COMITÉ OPERATIVO

Conformado en febrero 2024  
Constituido por 6 servicios públicos en ambas normas:  
SMA, Energía, Minería, Desarrollo Social y Familia, Salud,  
Agricultura

### COMITÉ OPERATIVO AMPLIADO

Conformado en diciembre 2024  
Constituido por los integrantes del Comité Operativo, más representantes de agrupaciones o personas naturales, diferentes a la administración del Estado (ONGs, instituciones académicas, colegio médico y organizaciones de la sociedad civil).

COA NPCA: 12 instituciones adicionales  
COA NSCA: 10 instituciones adicionales

## Próximos pasos

COA	Mes /año	Objetivo
3º	13 mayo 2025	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presentación Propuesta de escenarios normativos</li></ul>
4º	29 mayo 2025	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presentación borrador Anteproyecto</li></ul>
5º	13 junio 2025	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presentación Observaciones Anteproyecto y Borrador Proyecto Definitivo</li><li>• Presentación AGIES institucional</li></ul>



# Expedientes públicos

Ministerio del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile

**EXPEDIENTES ELECTRÓNICOS**  
Planes y Normas

Normas de Calidad Normas de Emisión Planes Búsqueda

Búsqueda por Región

**Bienvenida**

Aquí encontrará información relativa a los procesos de elaboración y revisión de normas de calidad ambiental y de emisión, así como Planes de Prevención y/o Descontaminación, según lo estipula el DS N° 39/12 y DS N°38/12 del Ministerio de Medio Ambiente, respectivamente. Este portal, contribuirá al acceso de la información en forma expedita, reflejada en los expedientes públicos de cada proceso normativo.

\*\* La presente plataforma web aún se encuentra en proceso de poblamiento de datos para los distintos procesos de planes y normas. Se espera completar la información de los procesos faltantes en el corto plazo.

Oficina de Informaciones, Reclamos y Sugerencias

E-PAC Normas y Planes en Consulta Pública

**Documentos**

- Aprueba Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión
- Aprueba Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y Descontaminación

Aire Agua Ruido Luminica tromagnéticas

<https://planesynormas.mma.gob.cl>

## 1.-NPCA SO<sub>2</sub>

[https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=942156](https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=942156)

## 2.- NSCA SO<sub>2</sub>

[https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=942155](https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=942155)

**NORMAS**  
CALIDAD DEL AIRE Y DE EMISIÓN

<https://normasaire.mma.gob.cl/>

000345



Ministerio del  
Medio  
Ambiente

Gobierno de Chile



## **ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb, Y CO, Y NORMA SECUNDARIA PARA SO<sub>2</sub>**

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente



## **ANTECEDENTES PARA LA REVISIÓN DE LAS NORMAS PRIMARIAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb, Y CO, Y NORMA SECUNDARIA PARA SO<sub>2</sub>**

Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente

Presentación para Comité Operativo Ampliado Norma de Calidad Primaria y Secundaria para SO<sub>2</sub>

## Contenidos

- Contexto general SO2**
- Norma primaria de calidad**
  - Normativa nacional e internacional
  - Mecanismos del SO2 en la salud
  - Relaciones de causalidad
  - Resumen evidencia de efectos en salud
  - Cumplimiento normativo estándar actual
- Norma secundaria de calidad**
  - Contexto NSCA
  - Normativa nacional e internacional
  - Sitios prioritarios y áreas protegidas en comunas de interés por SO2
  - Evidencia en vegetación
  - Resumen efectos del SO2 en vegetación y ecosistemas
  - Cumplimiento normativo
- Técnicas de monitoreo**
- Inventario de emisiones**
- Propuesta y análisis costo beneficio de escenarios normativos**

## Contexto

- El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se forma a partir de la oxidación del azufre (S) contenido en el combustible, y en el S contenido en compuestos como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y sulfuros metálicos.
- Principales fuentes:
  - Procesos de Combustión de combustibles fósiles (carbón y derivados del petróleo)
  - Fundiciones de cobre, fábricas de celulosa y papel, cementeras, siderúrgicas, refinerías de petróleo y plantas de procesamiento químico.
- La mayoría del azufre (S) se oxida a SO<sub>2</sub> y una fracción pequeña a SO<sub>3</sub> (ambos óxidos muy solubles en agua y se absorben después de ser inhalados). El SO<sub>3</sub> reacciona rápidamente con vapor de agua para formar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (conversión aumenta con el incremento de la humedad relativa y los niveles de O<sub>3</sub>).
- Oxidación del SO<sub>2</sub> por el radical hidroxilo (OH):
  - SO<sub>2</sub> + OH + M → HSO<sub>3</sub> + M
  - HSO<sub>3</sub> + O<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub> + HO<sub>2</sub>
  - SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O + M → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + M (niebla ácida)
- El sulfato (SO<sub>4</sub>) es parte importante del MP<sub>2.5</sub> secundario en zonas con alta emisión de SO<sub>2</sub>.

## NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## SO<sub>2</sub> – normativa internacional (μg/m<sup>3</sup>)

Tipo norma	País	Media 10 min	Media 30min	Media 1h	Media 3h	Media 24h	Media anual
Primaria	<b>Chile</b> <sup>(1)</sup>			<b>350</b>		<b>150</b>	<b>60</b>
	Alemania			350		125	50
	Argentina					365	80
	Brasil					50	30
	Canadá			183			13
	China			500		150	60
	Colombia			100		50	
	España			350		125	
	Estados Unidos			196			
	Italia			350		125	
	Japón			262		105	
	México			197		105	
	OMS	500				40	
	Perú					250	
	Reino Unido			350		125	
	Suecia			200		100	
	Suiza		100			100	30
Unión Europea			350		125		
Secundaria	<b>Chile (Norte)</b> <sup>(1)</sup>			<b>1.000</b>		<b>365</b>	<b>80</b>
	<b>Chile (Sur)</b> <sup>(1)</sup>			<b>700</b>		<b>260</b>	<b>60</b>
	Alemania						20 <sup>(3)</sup>
	Argentina				1300		
	China <sup>(2)</sup>			150		50	20
	España						20 <sup>(3)</sup>
	Estados Unidos				1310		
	Italia						20 <sup>(3)</sup>
	Reino Unido						20 <sup>(3)</sup>
	Suecia						20 <sup>(3)</sup>
Unión Europea						20 <sup>(3)</sup>	

*\*EPA está proponiendo revisar el estándar secundario existente a uno anual con un nivel de 10 a 15 ppb (26-39 ug/m<sup>3</sup>) promediado durante 3 años.*

(1) : En Chile se normaliza a condiciones estándar (presión 1 atm, temperatura 25 °C).

(2) : Se aplican a regiones especiales como los parques nacionales.

(3) : Este valor se establece también para la media invernal (1 de octubre hasta el 31 de marzo).

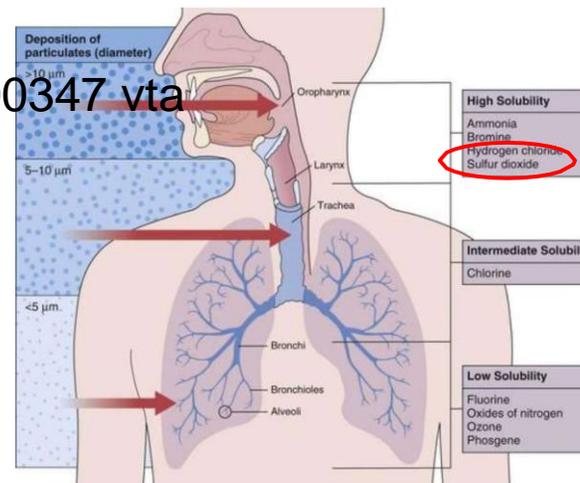
## Mecanismos de Efectos en salud SO<sub>2</sub>

- El SO<sub>2</sub> es altamente soluble en agua, por lo que al ser inhalado se absorbe fácilmente en las vías respiratorias superiores y no penetra profundamente al pulmón, aunque durante el ejercicio aumenta la tasa de flujo oral y se promueve la penetración en vías inferiores.
- La absorción depende de la concentración, con un 85% de absorción en la nariz a 4- 6 µg/m<sup>3</sup> y cerca del 99% a 46 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2006).
- Niños y personas con asma o rinitis alérgica que respiran más por vía oral, es de esperar que el SO<sub>2</sub> penetre más en los pulmones (US-EPA, 2017).

### □ Principales efectos de la inhalación en sitios de absorción:

- Activación de nervios sensoriales en las vías respiratorias que resulta en respuestas neurales reflejas.
- Lesiones en la mucosa de las vías respiratorias (especialmente a concentraciones altas y después de períodos prolongados de exposición).
- Aumento de inflamación alérgica en adultos con asma y aumento de la capacidad de respuesta de las vías respiratorias.

Fuente: (US-EPA, 2017)



## Relación periodo y respuesta

Peso de la evidencia de efectos del SO2 (USEPA, ISA del SO2 2017)

Exposición	Mortalidad	Morbilidad cardiovascular	Morbilidad respiratoria	Morbilidad metabólica	Morbilidad en el sistema nervioso	Morbilidad reproductiva y del desarrollo		Cáncer
						Reproducción y fertilidad en mujeres y hombres	Efectos del embarazo y el parto	
Largo Plazo	Inadecuado	Inadecuado (2)	Sugerente (1)	-	-	Inadecuado	-	Inadecuado
Corto Plazo	Sugerente	Inadecuado	Causal	-	-	-	-	-

(1) En la versión anterior se clasificó como inadecuado.

Fuente: (US-EPA, 2017)

(2) En la versión anterior no fue incluido.

## Relaciones de causalidad identificadas por la OMS en guía 2021

Exposición	Mortalidad cardiovascular y respiratoria	Mortalidad total	Morbilidad respiratoria	Morbilidad cardiovascular	Cáncer
Corto Plazo	Causal (1)(3)	Causal (3)	Causal (2)	-	-

Fuente: (OMS, ). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

(1) Solo respiratoria.

(2) Health Canada considera solo adultos.

(3) El grupo de trabajo de las Directrices de Calidad del Aire decide incluirlo, pero la evidencia no reporta realmente una relación de causalidad con mortalidad.

## Resumen de la evidencia de efectos en salud humana

- ❑ El SO<sub>2</sub> inhalado no penetra profundamente al pulmón, aunque durante el ejercicio aumenta la tasa de flujo oral y se promueve la penetración en vías respiratorias inferiores.
  - Grupos más sensibles: Niños y personas con asma o rinitis alérgica.
- ❑ Existen **pruebas sólidas de una relación causal** respecto a efectos respiratorios por exposición de corto plazo, en particular para la población de riesgo (exacerbación del asma en concentraciones tan bajas como 524 ug/m<sup>3</sup>).
- ❑ La evidencia existente es **sugereente, pero no suficiente** para determinar efectos respiratorios por exposición a largo plazo o mortalidad por exposición a corto plazo.
- ❑ Para otros efectos en la salud, la evidencia es inadecuada.

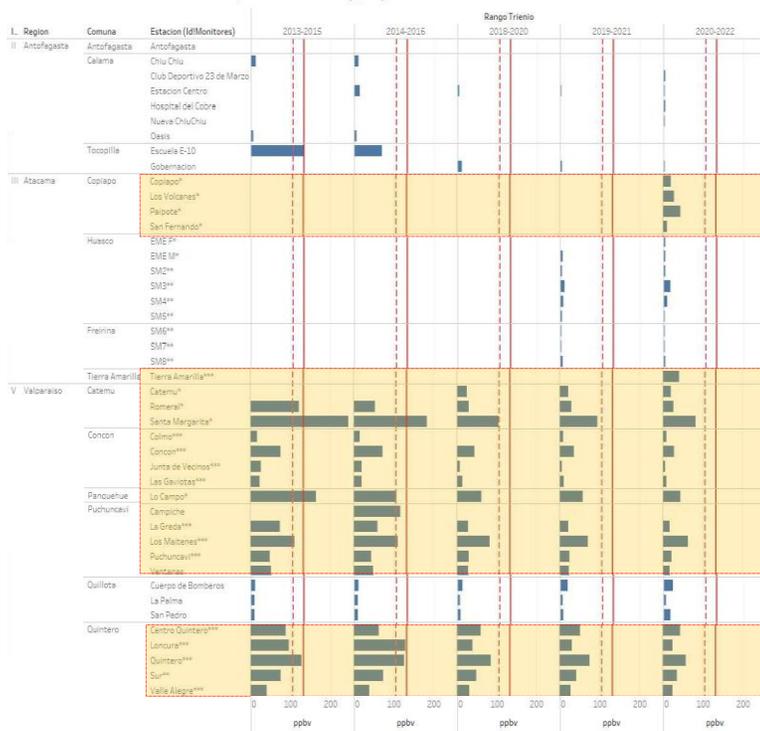
## CUMPLIMIENTO NORMATIVO NORMA PRIMARIA SO2

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Cumplimiento normativo norma horaria – Norma primaria

P.98.5 Concentraciones horarias SO<sub>2</sub>, promedio trienal (ppbv)



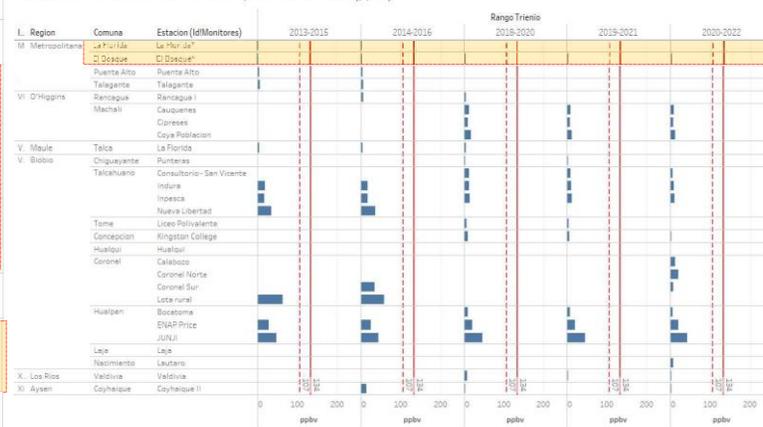
- Límite 134 ppbv (350 µg/m<sup>3</sup>).
- No hay superación de la norma horaria.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.

\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.

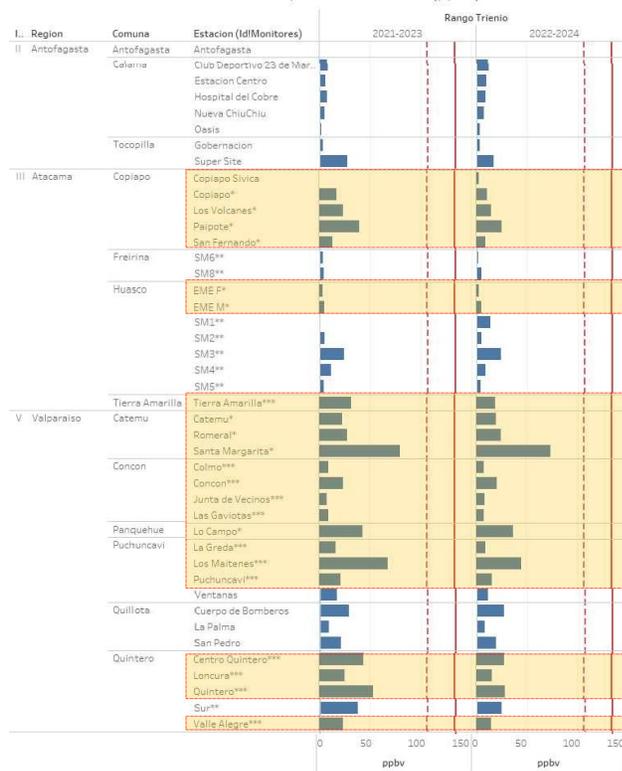
\*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.

P.98.5 Concentraciones horarias SO<sub>2</sub>, promedio trienal (ppbv)



## Cumplimiento normativo norma horaria – Norma primaria

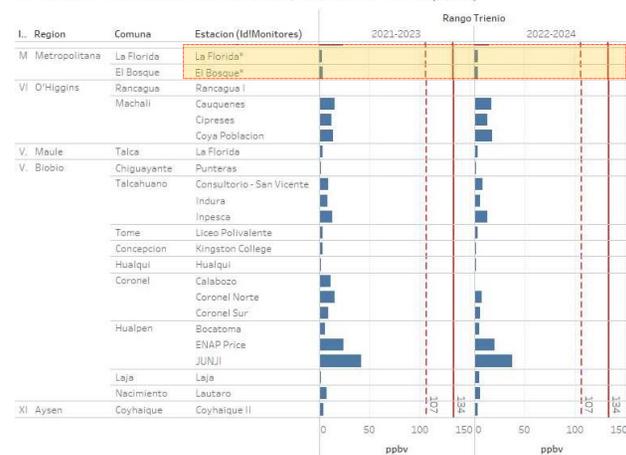
P.99 Concentraciones horarias SO2, promedio trienal (ppbv)



- Límite 134 ppbv (350 µg/m3).
- No hay superación de la norma horaria.

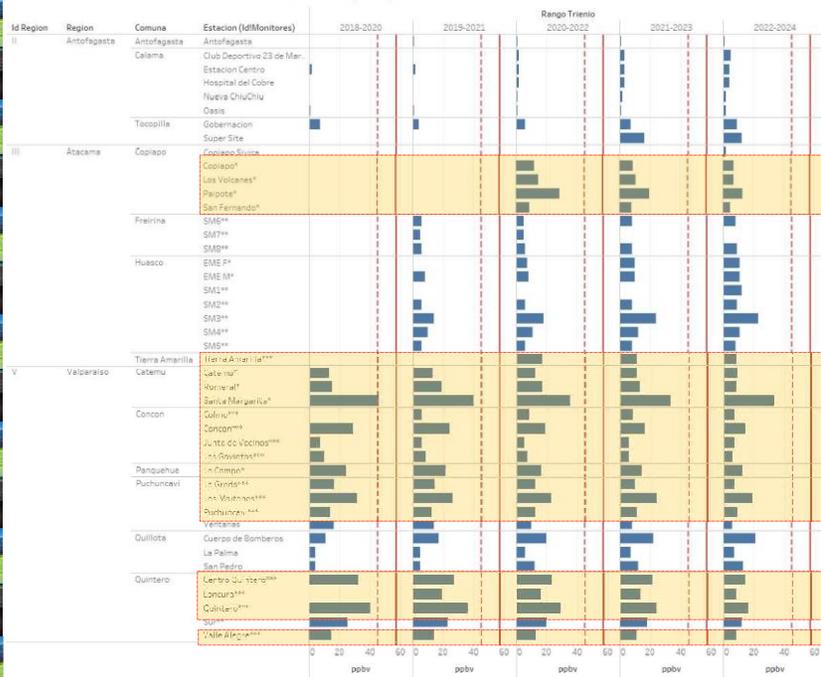
\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.  
 \*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.  
 \*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.

P.99 Concentraciones horarias SO2, promedio trienal (ppbv)



## Cumplimiento normativo norma diaria – Norma primaria

P.99 concentraciones diarias SO<sub>2</sub>, promedio trienal (ppbv)

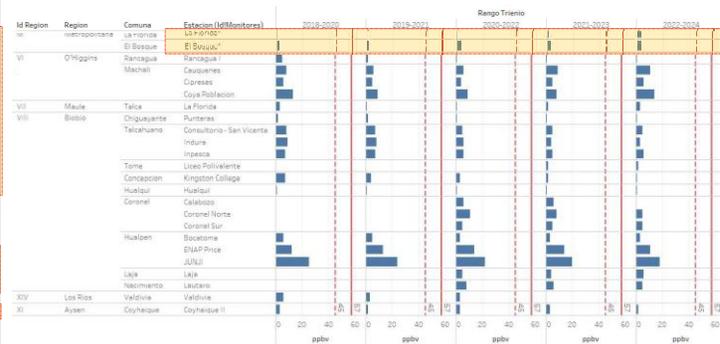


- Límite 57 ppbv (150 µg/m<sup>3</sup>).
- No hay superación de la norma diaria.
- En las comunas de Catemu y Puchuncaví se detectan los niveles de concentración más altos.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.

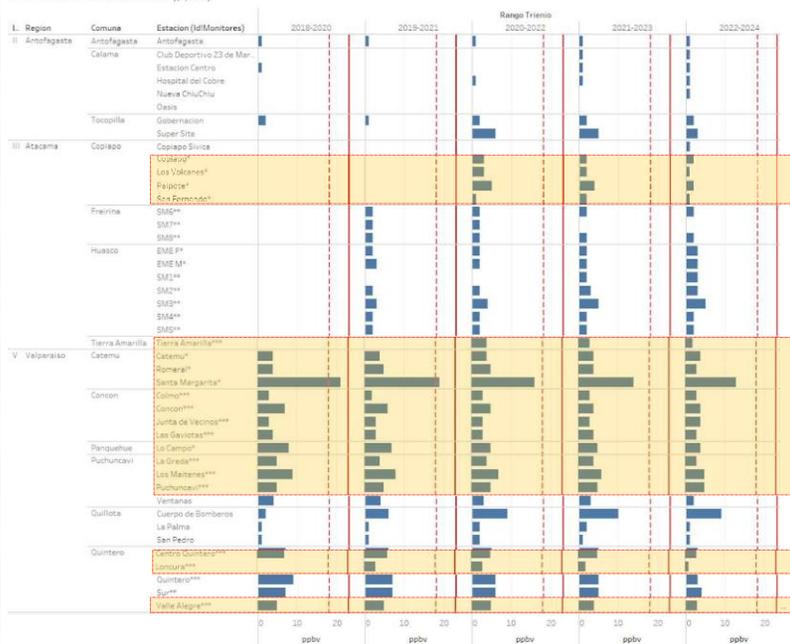
\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.

\*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



## Cumplimiento normativo norma anual – Norma primaria

Promedio trianual de SO<sub>2</sub> (ppbv)

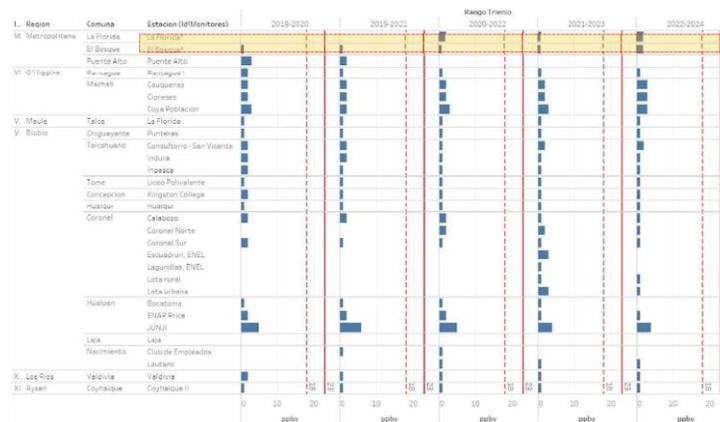


- Límite 23 ppbv (60 µg/m<sup>3</sup>).
- No hay superación de norma anual en zonas con EMPR.
- En las comunas de Catemu y Puchuncaví se detectan los niveles de concentración más altos.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.

\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.

\*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



## NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Contexto

- Las normas secundarias de calidad ambiental para un contaminante no son de aplicación nacional.
- Se aplican en zonas geográficas donde existen ecosistemas u objetos de protección (OdP) sensibles al contaminante
- Por lo tanto, se requiere identificar esas zonas y los OdP sensibles.
  
- Zonas protegidas cercanas a comunas que presentan concentraciones potencialmente nocivas identificadas en el estudio, a nivel regional:
  - Antofagasta
  - Atacama
  - Valparaíso
  - Biobío

## SO<sub>2</sub> – normativa internacional (ug/m<sup>3</sup>)

Tipo norma	País	Media 10 min	Media 30min	Media 1h	Media 3h	Media 24h	Media anual
Primaria	<b>Chile</b> <sup>(1)</sup>			<b>350</b>		<b>150</b>	<b>60</b>
	Alemania			350		125	50
	Argentina					365	80
	Brasil					50	30
	Canadá			183			13
	China			500		150	60
	Colombia			100		50	
	España			350		125	
	Estados Unidos			196			
	Italia			350		125	
	Japón			262		105	
	México			197		105	
	OMS	500				40	
	Perú					250	
	Reino Unido			350		125	
	Suecia			200		100	
	Suiza		100			100	30
Unión Europea			350		125		
Secundaria	<b>Chile (Norte)</b> <sup>(1)</sup>			<b>1.000</b>		<b>365</b>	<b>80</b>
	<b>Chile (Sur)</b> <sup>(1)</sup>			<b>700</b>		<b>260</b>	<b>60</b>
	Alemania						20 <sup>(3)</sup>
	Argentina				1300		
	China <sup>(2)</sup>			150		50	20
	España						20 <sup>(3)</sup>
	Estados Unidos				1310		
	Italia						20 <sup>(3)</sup>
	Reino Unido						20 <sup>(3)</sup>
	Suecia						20 <sup>(3)</sup>
Unión Europea						20 <sup>(3)</sup>	

(1) : En Chile se normaliza a condiciones estándar (presión 1 atm, temperatura 25 °C).

(2) : Se aplican a regiones especiales como los parques nacionales.

(3) : Este valor se establece también para la media invernal (1 de octubre hasta el 31 de marzo).

*\*EPA está proponiendo revisar el estándar existente a uno anual con un nivel de 10 a 15 ppb (26-39 ug/m<sup>3</sup>) promediado durante 3 años. Sin embargo, no espera que se necesiten reducciones adicionales de emisiones para cumplir con el estándar secundario anual propuesto de SO<sub>2</sub>.*

## Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Antofagasta

Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales)

### Antofagasta

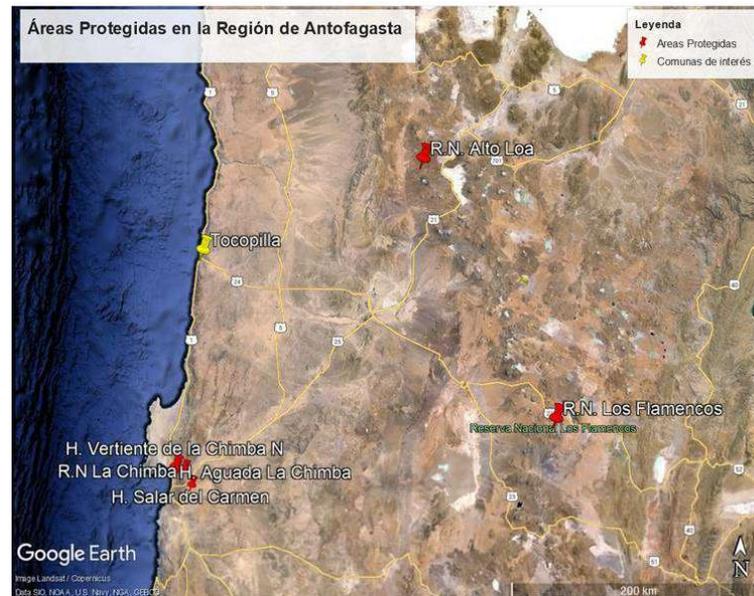
- Humedal Aguada La Chimba
- Salar del Carmen
- Reservas Nacionales: La Chimba, Alto Loa,
- Los Flamencos
- Vertiente Chimba Norte
- **Desembocadura Río Loa**
- **Oasis de Quillagua**

### Atacama

### Valparaíso

### Biobío

En negrita los sectores prioritarios del SIMBIO.



## Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Atacama

- Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.

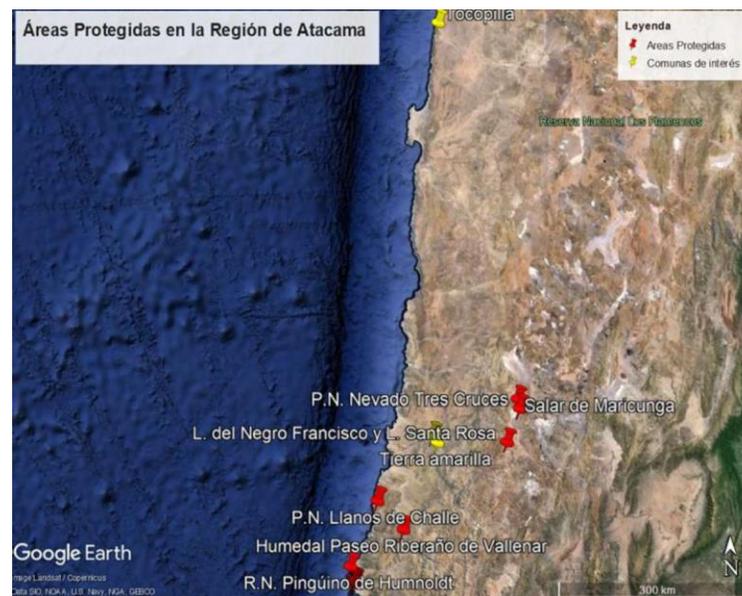
### Antofagasta

### Atacama

- Humedal Paseo Riberaño de Vallenar
- Salar de Maricunga
- Lacustre Laguna del Negro Francisco
- Laguna Santa Rosa
- Reservas Nacionales: Pingüino de Humboldt, Nevado de Tres Cruces, Llanos de Challe, **Santuario de la Naturaleza Desierto Florido**
- Bahía Salada
- Corredor biológico Pantanillo
- Monte Amargo
- Piedra Colgada
- Quebradas: Del Morel, San Andrés, De Serna
- Ríos: Copiapó, Cachitos, Figueroa, Manflas, Montosa
- RNP Huascoaltino

### Valparaíso

### Biobío



## Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Valparaíso

- Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.

### Antofagasta

### Atacama

### Valparaíso

- Humedales: Mayaca, Mantagua, Quirilluca, Campiche, Urbano Estero El Litre
- Reservas Nacionales: Lago Peñuelas, La Campana, Piedras Blancas, Santuario Laguna El Peral.
- Estero de Quilpué, Laguna y Estero Cartagena,
- **Estero Mantagua, Estero Catapilco**
- Estuario del Río Aconcagua.
- **Dunas de Ritoque**
- **Río Aconcagua**
- **Cuesta el Melon - Altos de Pucalán - La Canela**
- **Acantilados Quebrada Quirilluca**

### Biobío



## Zonas protegidas cercanas a fuentes de emisión Región de Biobío

Zonas protegidas (como santuarios, parques, humedales) cercanas a comunas de interés para el estudio.

Antofagasta

Atacama

Valparaíso

Biobío

- Humedales: Boca Maule, Escuadrón Quiñeco, Rocuant-Andalién, Vasco de Gama, Price, **Tubul Raqui**,
- **Sistema Lacustre Intercomunal Concepción**
- Reservas Nacionales: Santuario de la Naturaleza
- Península de Hualpén, Reserva Nacional Nonguén
- **Área marina Isla Mocha, Isla Quiriquina y Tumbes**
- **Quebrada Caramávida**
- **Amortiguación Nahuelbuta, Contulmo**
- **ADI Alto del Bio-Bío, ADI Lleu – Lleu**
- **Fundo Villucura, Fundo Nonguén**
- **Tome – Neuque**
- **Río Polcura**
- **Altos de Escuadrón**



## Evidencia de efectos en vegetación del SO<sub>2</sub>

- Efectos en la vegetación dependen del tiempo de exposición y morfología de la planta; tamaño de las hojas, índice área foliar y cobertura (U.S. EPA, 2020).
- A diferencia de las plantas vasculares, los musgos y líquenes no tienen una barrera cuticular protectora contra los contaminantes gaseosos, por lo que son más sensibles a estos. Efectos en su funcionamiento vital y alteraciones estructurales (U.S. EPA, 2020).
- Humedales: SO<sub>2</sub> penetra fácilmente en los cloroplastos y afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas incluso cuando las estomas están cerradas (puede reaccionar con el agua para producir bisulfito y entrar a la hoja a través de la cutícula). Reducción de la asimilación del CO<sub>2</sub> en cloroplastos, lo que inhibe las enzimas fotosintéticas y disminuye la tasa de transporte fotosintético de electrones (Sha et al., 2010).
- SO<sub>2</sub> puede provocar menoscabos en algunos cultivos y ocasionar pérdidas en la productividad (García-Huidobro et al., 2001).

## Resumen de la evidencia de efectos en vegetación y ecosistemas

- Existe evidencia de efectos negativos por SO<sub>2</sub> gaseoso y por su depositación en vegetación, suelo y agua.
- Fitointoxicación y acidificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.
- Especies y ecosistemas afectados:
  - Distintos tipos de vegetación, musgo, líquenes.
  - Humedales y ecosistemas acuáticos.
  - Zonas de cultivos.
- Decisión de aplicar una norma secundaria en ciertas zonas debe considerar:
  - Ecosistemas presentes vulnerables a la exposición de este contaminante.
  - Disminución de los niveles de SO<sub>2</sub> puede generarse sólo con la norma primaria, por tanto, la norma secundaria podría no generar reducciones adicionales.

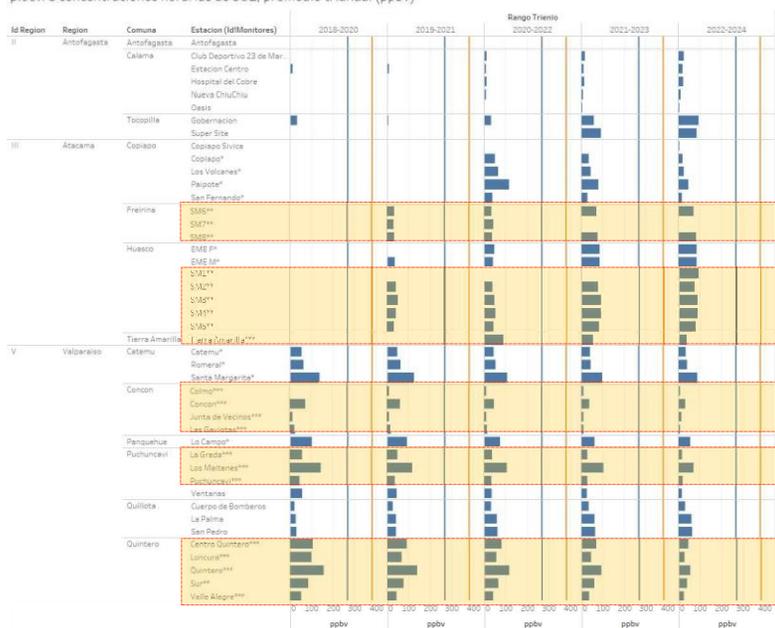
## CUMPLIMIENTO NORMATIVO NORMA SECUNDARIA SO2

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



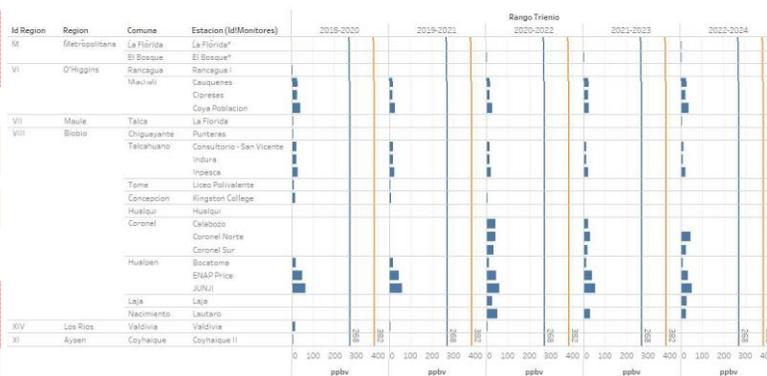
## Cumplimiento normativo norma horaria – Norma secundaria

p.99.73 concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>, promedio trianual (ppbv)



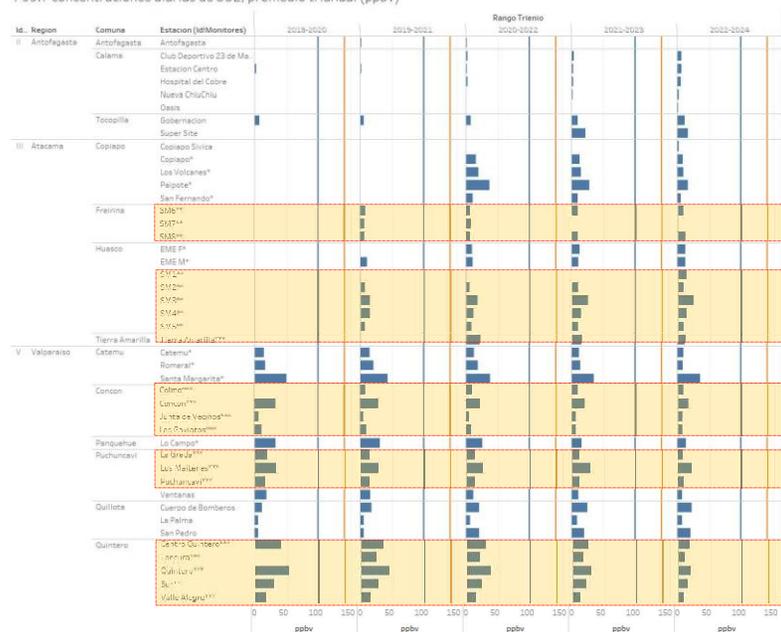
- Línea naranja: límite zona norte 382 ppbv (1.000 µg/m<sup>3</sup>) | Línea azul: límite zona sur 268 ppbv(700 µg/m<sup>3</sup>)
- No hay superación de la norma horaria.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.  
 \*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.  
 \*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



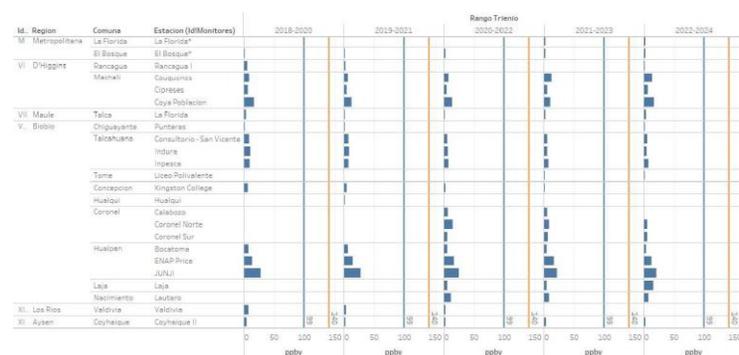
## Cumplimiento normativo norma diaria – Norma secundaria

P99.7 concentraciones diarias de SO<sub>2</sub>, promedio trianual (ppbv)



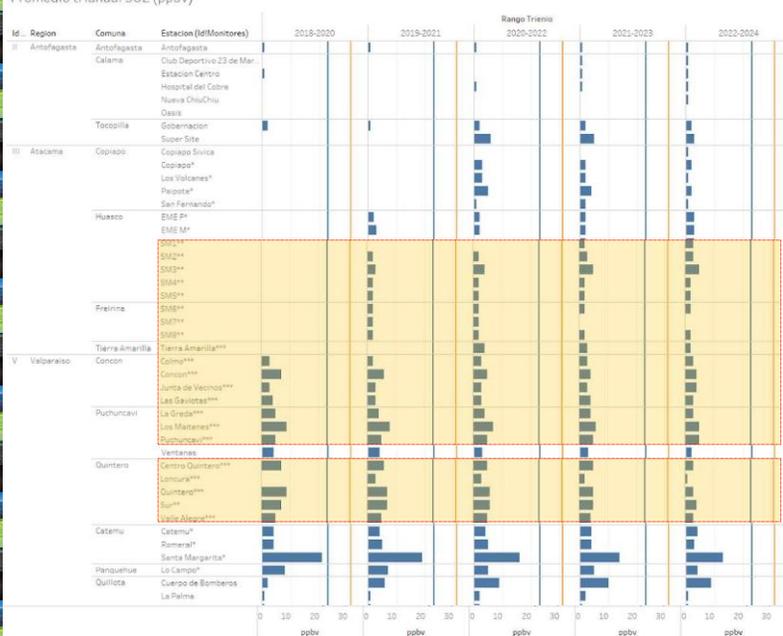
- Línea naranja: límite zona norte 140 ppbv (365 µg/m<sup>3</sup>)
- Línea azul: límite zona sur 99 ppbv (260 µg/m<sup>3</sup>)
- No hay superación de la norma diaria.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.  
 \*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.  
 \*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.

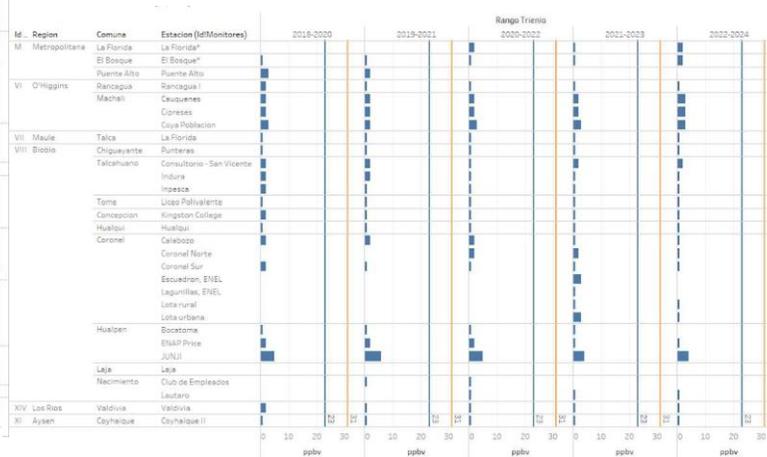


## Cumplimiento normativo norma anual – Norma secundaria

Promedio trienal SO2 (ppbv)



- Línea naranja: límite zona norte 31 ppbv (81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Línea azul: límite zona sur 23 (60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- No hay superación de la norma diaria.



## TÉCNICAS DE MONITOREO

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Técnicas de monitoreo SO<sub>2</sub>

- El D.S. N°22/2009, MINSEGPRES establece los siguientes métodos de medición de dióxido de azufre:
  - a. Fluorescencia ultravioleta
  - b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in – situ y
  - c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea (U.S. EPA, 2016b).
- En el método de fluorescencia ultravioleta, una radiación ultravioleta con una longitud de onda de 214 nm ilumina la muestra provocando una excitación electrónica de las moléculas de SO<sub>2</sub>. La intensidad de esta fluorescencia visible es proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub>.



Figura 4-6 Muestreador de SO<sub>2</sub> Thermo 43i  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-15 Equipos aprobados por la EPA para medir SO<sub>2</sub>.

Marca	Modelo	Técnica de medición	Rango de medición	Temperatura
Horiba	APSA-370	Fluorescencia UV	0 - 0,5 ppm	20 - 30 °C
Horiba	APSA-360, APSA-360-CE, or APSA-360A-CE	Absorción UV	0 - 0,5 ppm	5 - 40 °C
Teledyne	100A, 100AS, 100E, 100EU, T100, T100U	Fluorescencia	0 - 50 ppb y 0 - 1000 ppb	5 - 40 °C
Thermo Environmental Instruments	43A, 43B, 43C, 43C-TLE, 43i, 43i-TLE	Fluorescencia	0 - 0,1 ppm 0 - 0,2 ppm 0-0.5 ppm 0-1.0 ppm	20 - 30 °C

Fuente: List of designated reference and equivalent methods (U.S. EPA, 2024c).



Figura 4-5 Muestreador Horiba APSA 370  
Fuente: Elaboración propia

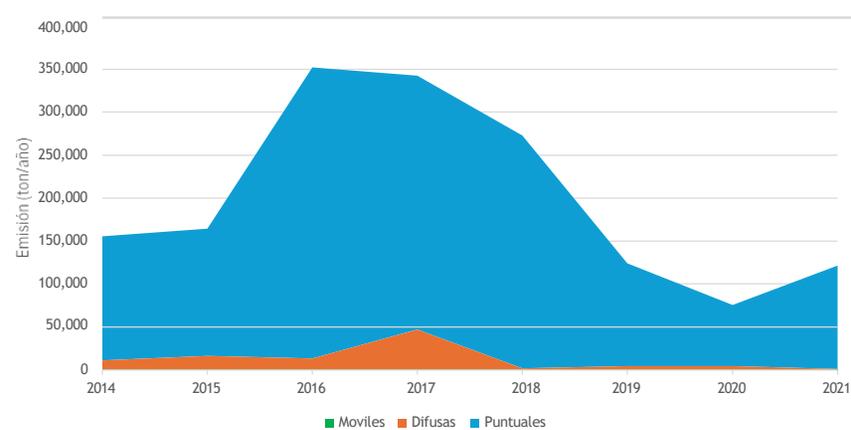
## INVENTARIO DE EMISIONES

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Inventario de Emisiones

- Registros RETC
- 94% de las emisiones de SO<sub>2</sub> provienen de fuentes puntuales



Tipo de emisión al aire	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fuentes Puntuales	144.362	148.068	338.904	295.931	270.894	119.356	70.983	120.375
Fuentes Móviles	187	206	208	209	138	144	117	146
Fuentes Difusas	10.680	16.105	12.994	46.528	1.730	4.386	4.199	733
<b>Total</b>	<b>155.229</b>	<b>164.380</b>	<b>352.105</b>	<b>342.668</b>	<b>272.762</b>	<b>123.886</b>	<b>75.299</b>	<b>121.254</b>

## PROPUESTA DE ESCENARIOS NORMATIVOS

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Propuesta de escenario normativo

Tipo norma	País	Media 10 min	Media 30min	Media 1h	Media 3h	Media 24h	Media anual
Primaria	<b>Chile <sup>(1)</sup></b>			<b>350</b>		<b>150</b>	<b>60</b>
	Alemania			350		125	50
	Argentina					365	80
	Brasil					50	30
	Canadá			183			13
	China			500		150	60
	Colombia			100		50	
	España			350		125	
	Estados Unidos			196			
	Italia			350		125	
	Japón			262		105	
	México			197		105	
	OMS	500				40	
	Perú					250	
	Reino Unido			350		125	
	Suecia			200		100	
	Suiza		100			100	30
	Unión Europea			350		125	
	Secundaria	<b>Chile (Norte) <sup>(1)</sup></b>			<b>1.000</b>		<b>365</b>
<b>Chile (Sur) <sup>(1)</sup></b>				<b>700</b>		<b>260</b>	<b>60</b>
Alemania							20 <sup>(3)</sup>
Argentina					1300		
China <sup>(2)</sup>				150		50	20
España							20 <sup>(3)</sup>
Estados Unidos					1310		
Italia							20 <sup>(3)</sup>
Reino Unido							20 <sup>(3)</sup>
Suecia							20 <sup>(3)</sup>
Unión Europea							20 <sup>(3)</sup>

### Propuesta norma primaria

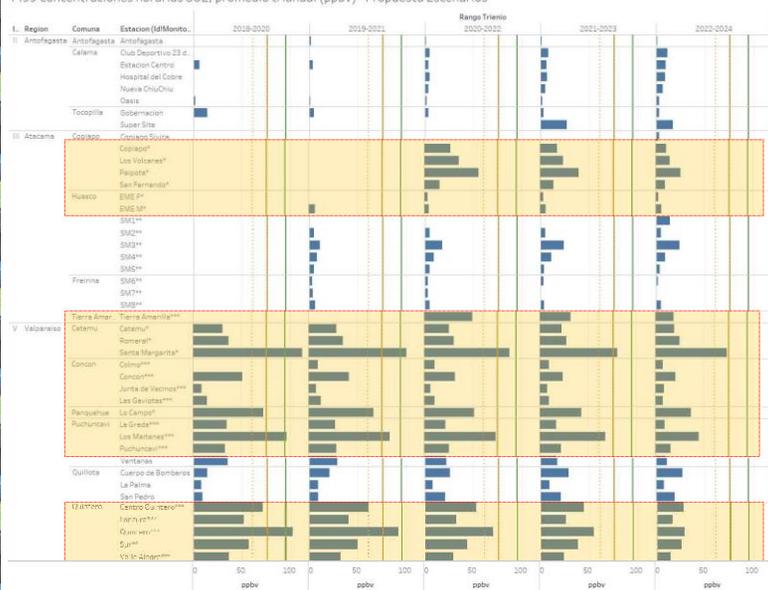
Escenario	Norma media 1 hr (µg/m3)	Norma media 24 hrs (µg/m3)	Norma anual (µg/m3)
NPCA Actual	350	150	60
Propuesta 1	250	120	40
Propuesta 2	200	40	35

### Propuesta norma secundaria

Escenario	Norma media 24 hrs (µg/m3)	Norma anual (µg/m3)
NSCA Actual	260	60
Propuesta 1	150	50
Propuesta 2	150	20

## Diagnóstico del cumplimiento de los nuevos escenarios normativos Norma Primaria 2018-2024 – horaria media 1 hr

P.99 Concentraciones horarias SO<sub>2</sub>, promedio trianual (ppbv) - Propuesta Escenarios

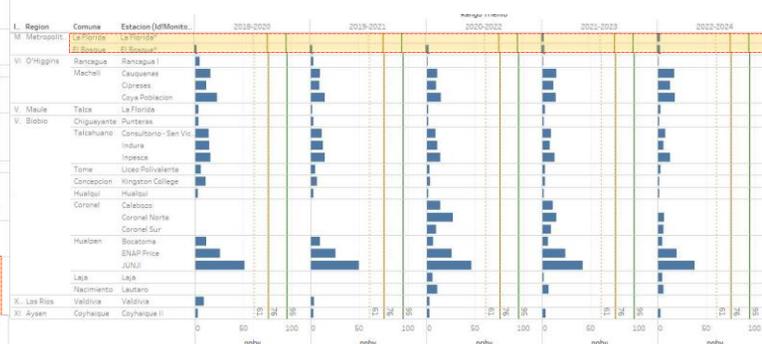


- Propuesta 1: **95 ppbv** (250 µg/m<sup>3</sup>)
- Propuesta 2: **76 ppbv** (200 µg/m<sup>3</sup>)
- Con la Propuesta 1 no habría superación de la norma.
- Con la Propuesta 2, las estaciones con EMRP que entrarían en latencia serían de las comunas de Catemu.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.

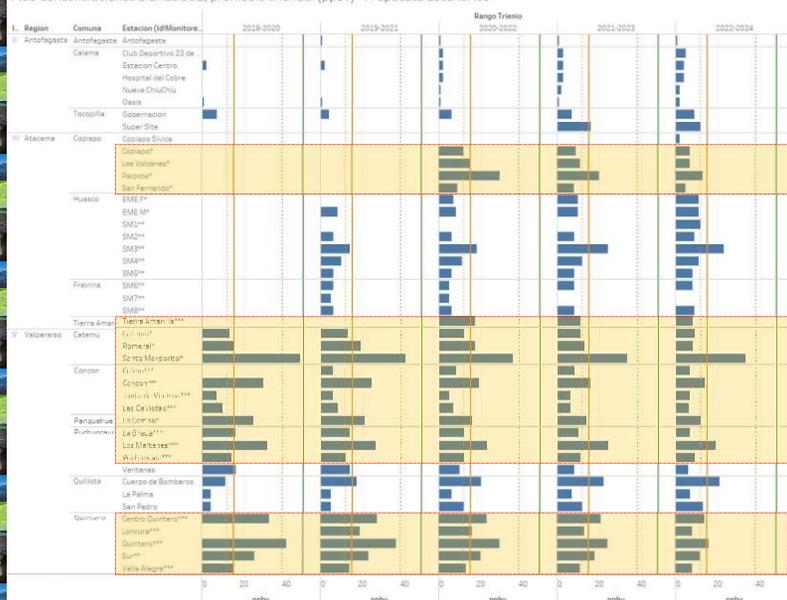
\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.

\*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



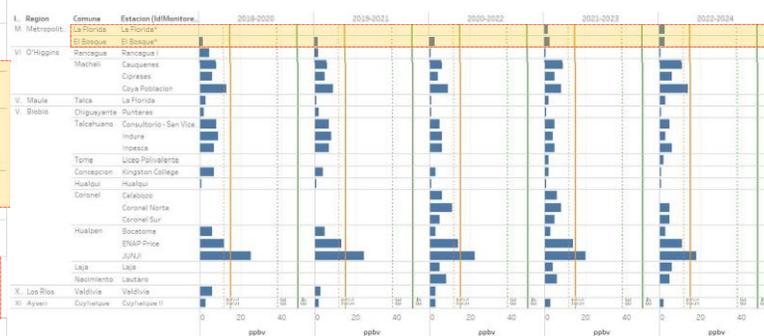
## Diagnóstico del cumplimiento de los nuevos escenarios normativos Norma Primaria 2018-2024 – diaria media 24 hrs

P.99 Concentraciones diarias SO2, promedio trianual (ppbv) - Propuesta Escenarios



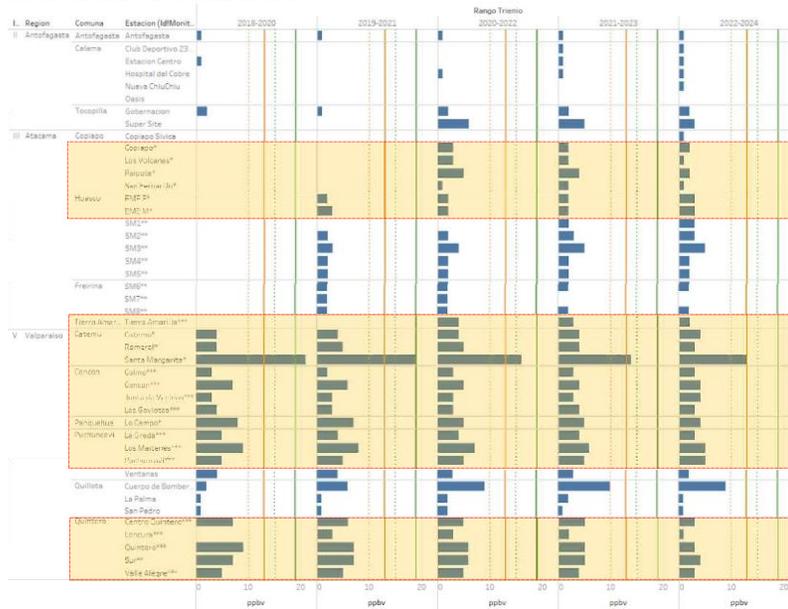
- Propuesta 1: **48 ppbv** (120 µg/m<sup>3</sup>)
- Propuesta 2: **15 ppbv** (40 µg/m<sup>3</sup>)
- Con la Propuesta 1 no habría superación de la norma.
- Con la Propuesta 2, las estaciones con EMRP que entrarían en latencia serían de las comunas de Copiapó, Catemu, Concón, Quintero, Puchuncaví, Machalí.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.  
 \*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.  
 \*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



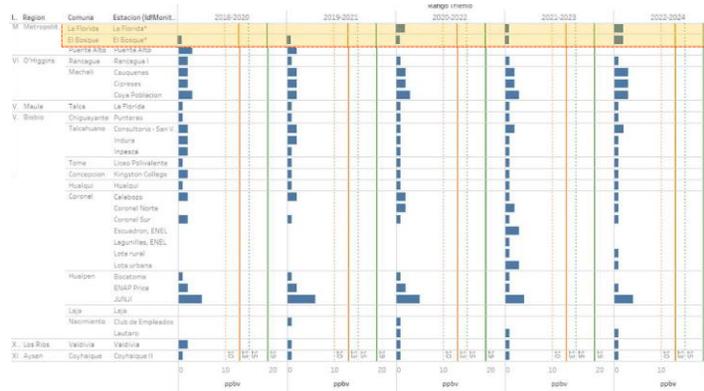
## Diagnóstico del cumplimiento de los nuevos escenarios normativos Norma Primaria 2018-2024 – anual

Promedio trianual (ppbv) - Propuesta Escenarios



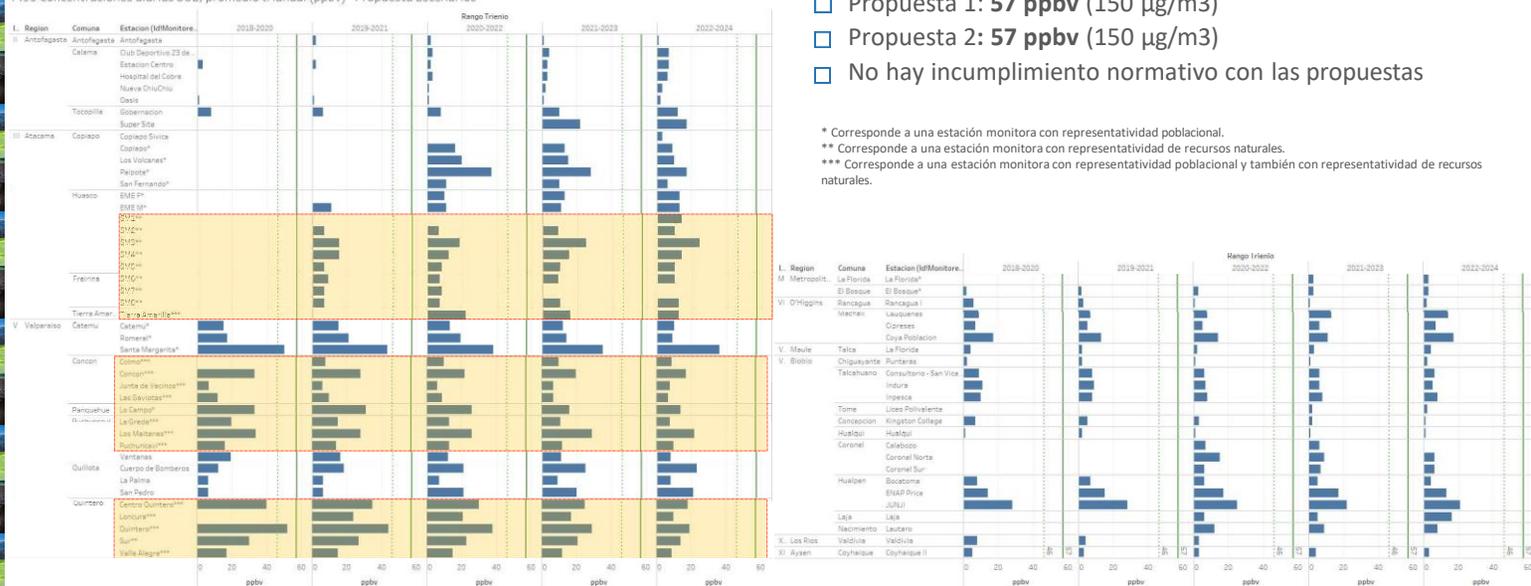
- Propuesta 1: **19 ppbv** (40 µg/m<sup>3</sup>)
- Propuesta 2: **13 ppbv** (35 µg/m<sup>3</sup>)
- Con la Propuesta 1 no habría superación de la norma.
- Con la Propuesta 2, las estaciones con EMRP que entrarían en latencia serían de las comunas de Catemu.

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.  
 \*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.  
 \*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



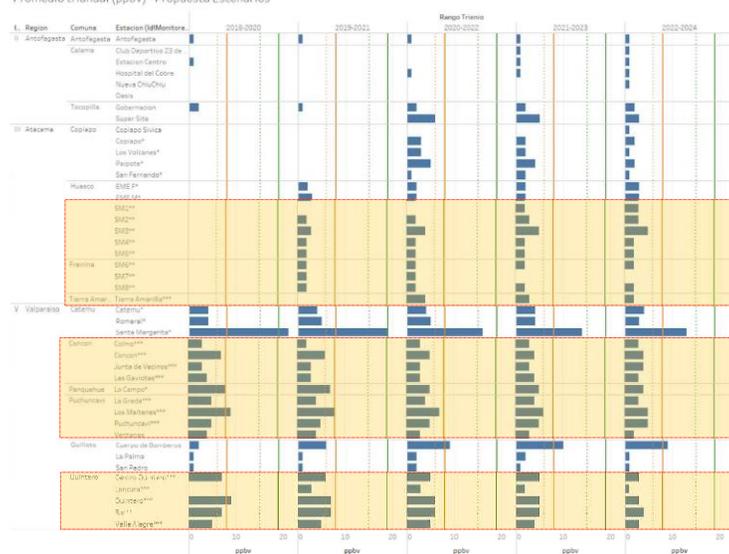
## Diagnóstico del cumplimiento de los nuevos escenarios normativos Norma Secundaria 2018-2024 – media 24 hrs

P.99 Concentraciones diarias SO2, promedio trianual (ppbv) - Propuesta Escenarios



## Diagnóstico del cumplimiento de los nuevos escenarios normativos Norma Secundaria 2018-2024 – anual

Promedio trianual (ppbv) - Propuesta Escenarios

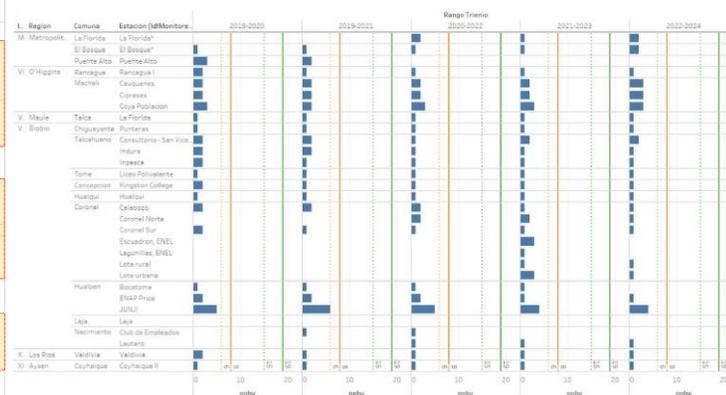


- Propuesta 1: 19 ppbv (50 µg/m<sup>3</sup>)
- Propuesta 2: 8 ppbv (20 µg/m<sup>3</sup>)
- Con la Propuesta 2 no hay incumplimiento normativo en EMRN

\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional.

\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad de recursos naturales.

\*\*\* Corresponde a una estación monitora con representatividad poblacional y también con representatividad de recursos naturales.



## Reducción de emisiones requerida Norma Primaria

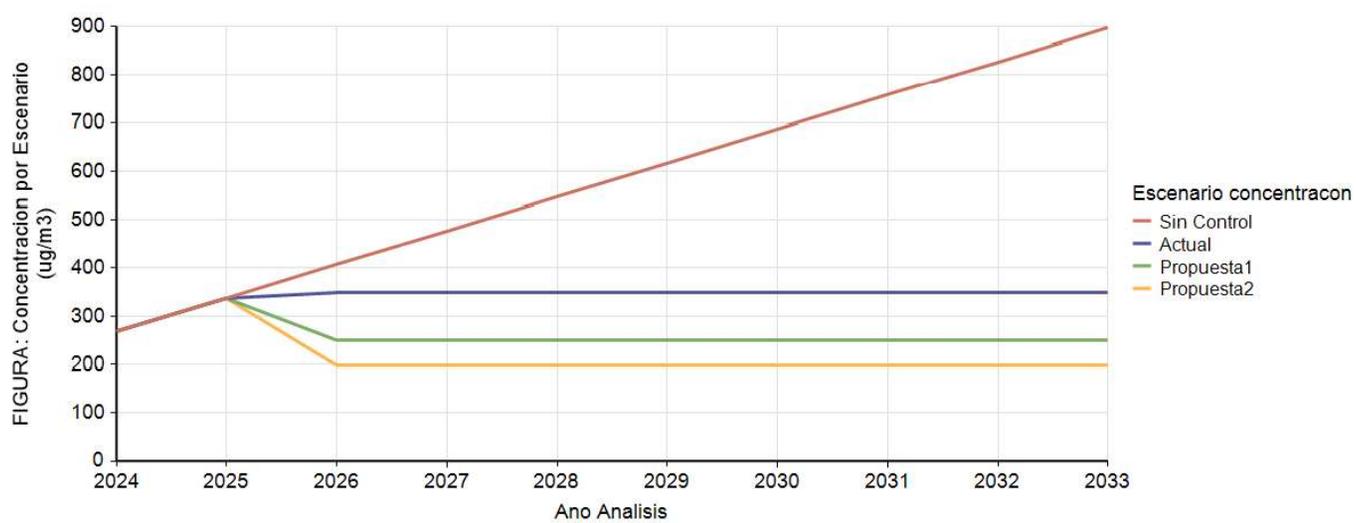
- Las centrales de Puchuncaví y Tocopilla se encontrarán cerradas al 2026, de acuerdo al Plan de retiro de Centrales Termoeléctricas. En Copiapó y Machalí siguen existiendo fundiciones, pero sólo en la primera zona las emisiones requieren ser reducidas.

Escenario Norma	Zona	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Propuesta 1	Catemu	-	-	-	-	-	-	-	-
	Copiapó	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coronel	1,512	1,967	2,373	2,742	3,086	3,410	3,721	4,021
	Machalí	12,499	11,874	11,245	10,613	9,979	9,341	8,701	8,059
	Puchuncaví	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tocopilla	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total reducción requerida propuesta 1</b>		<b>14,012</b>	<b>13,840</b>	<b>13,618</b>	<b>13,355</b>	<b>13,064</b>	<b>12,752</b>	<b>12,422</b>	<b>12,080</b>

Escenario Norma	Zona	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Propuesta 2	Catemu								
	Copiapó								
	Coronel	2,996	3,304	3,607	3,897	4,177	4,451	4,718	4,982
	Machalí	14,168	13,440	12,710	11,980	11,249	10,517	9,784	9,050
	Puchuncaví								
	Tocopilla								
<b>Total reducción requerida propuesta 2</b>		<b>17,164</b>	<b>16,744</b>	<b>16,318</b>	<b>15,877</b>	<b>15,426</b>	<b>14,667</b>	<b>14,502</b>	<b>14,032</b>

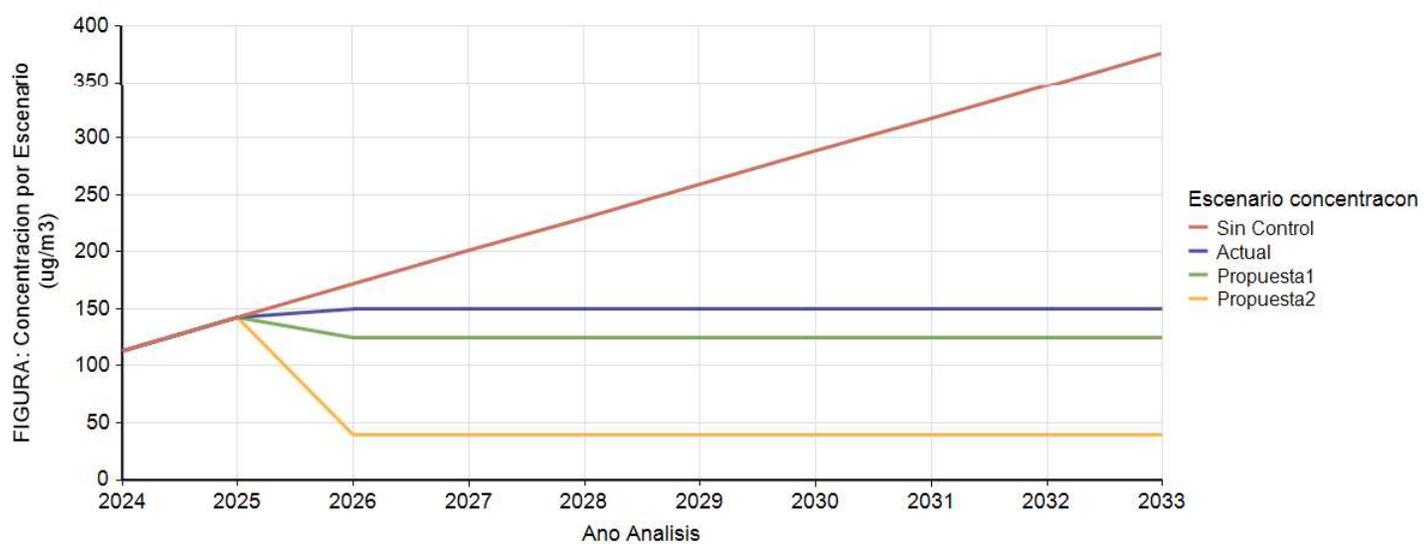
## Concentración 1h para diferentes escenarios Monitor escuadrón - Coronel

Escenario	1 hr $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NPCA Actual	350
Propuesta 1	250
Propuesta 2	200



## Concentración 24h para diferentes escenarios Monitor escuadrón - Coronel

Escenario	24 h $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NPCA Actual	150
Propuesta 1	120
Propuesta 2	40



## EVALUACIÓN COSTO/BENEFICIO DE PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE NORMA

*La investigación al servicio de una política pública sustentable*



## Beneficios esperados en casos evitados por año

Casos evitados asociados a mortalidad de corto plazo.

Escenarios Norma	Zona	2024	2025	2026	2027	2028	202G	2030	2031	2032	2033
<b>Actual</b>	Coronel	68	79	189	224	260	297	618	681	743	806
	Machalí			272	276	279	283	286	581	590	598
	Puchuncaví	168	219	217	323	327	330	620	685	714	744
	Tocopilla	64	60	57	66	63	61	58	56	53	50
<b>Actual Total</b>		<b>300</b>	<b>358</b>	<b>734</b>	<b>88G</b>	<b>G30</b>	<b>G71</b>	<b>1.583</b>	<b>2.002</b>	<b>2.100</b>	<b>2.1G8</b>
Propuesta 1 con respecto a Norma Actual	Coronel				205	232	257				
<b>Propuesta 1 con respecto a Norma Actual Total</b>					<b>205</b>	<b>232</b>	<b>257</b>				
Propuesta 2 con respecto a la norma actual	Coronel	107	205	232	257						
<b>Propuesta 2 con respecto a Norma Actual Total</b>			<b>205</b>	<b>232</b>	<b>257</b>						

## Beneficio, Costo y Razón beneficio costo, miles UF en valor presente Valores con respecto a la NPCA actual

Escenarios Norma	Beneficio (Miles UF)	Costo (Miles UF)	Beneficio Neto (Miles UF)	Razon B/C
<b>Propuesta 1</b>				
Coronel	31	58	-27	0.54
<b>Total Propuesta 1</b>	<b>31</b>	<b>57</b>	<b>-27</b>	
<b>Propuesta 2</b>				
Copiapo	40	78	-38	0.51
<b>Total Propuesta 2</b>	<b>40</b>	<b>78</b>	<b>-38</b>	

Escenario	1 hr	24 h	Anual
NPCA Actual	350	150	60
Propuesta 1	250	120	40
Propuesta 2	200	40	35

000367 vta



**MUCHAS GRACIAS**