

## 5. EVALUACIÓN DE ESCENARIOS REGULATORIOS

### 5.1. Criterios para revisar las normas ambientales

El Reglamento para la dictación de Normas de calidad ambiental y de emisión, D.S. 38 del año 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, en su Artículo 39, indica que para revisar las normas ambientales se debe considerar criterios de eficacia y de eficiencia en su aplicación, ponderados de acuerdo a:

- a) Los antecedentes considerados para la determinación de la norma de conformidad con lo dispuesto en el artículo 26, 28 inciso 1°, 32 inciso 1° y 37 letra a) del citado Reglamento; que tienen que ver con actualizaciones de los antecedentes que tienen para establecer los estándares.
- b) El nivel de cumplimiento informado por la Superintendencia del Medio Ambiente y vigencia actual de los objetivos tenidos en cuenta al momento de su dictación;
- c) Los cambios en las condiciones ambientales consideradas al momento de dictarse la norma, y
- d) Los resultados de las investigaciones científicas que aporten antecedentes nuevos sobre efectos adversos a las personas o a los recursos naturales o sobre nuevas metodologías de medición.

De esta forma, se puede decir que:

- e) Hay evidencia científica suficiente que indica que los estándares establecidos para el SO<sub>2</sub> de 24 horas y anual, presentan una amplia tolerancia, respecto a las recomendaciones y guías internacionales. En otras palabras, el objetivo preventivo del decreto supremo N°113, no se condice con los niveles que se establecen en los estándares.
- f) Los nuevos antecedentes disponibles desde el 2005, abunda en focalizar la vigilancia sobre los efectos agudos en salud del SO<sub>2</sub>.
- g) Hay evidencia en el país, en zonas industriales que comparten territorio con asentamientos humanos, que la norma de SO<sub>2</sub>, no protege a las poblaciones más vulnerables, correspondiente a grupos de asmáticos, infantes y niños.
- h) El decreto supremo N°113, mantiene un estándar anual del año 1978, cuenta con un estándar de 24 horas del año 2003; y no incluye un estándar para la protección de los efectos agudos para exposiciones de una hora o menos.

- i) Los niveles que se establecen para decretar emergencia y que tienen por objeto reducir la exposición de los grupos vulnerables de la población, presentan una amplia tolerancia respecto al riesgo al cual se expone la población.

Por lo expuesto, se requiere contar con antecedentes técnicos y de evaluación social para revisar la norma primaria de calidad del aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), establecida en el D.S. N°113, del 2003, del MINSEGRES.

La evaluación de escenarios regulatorios considera tres aspectos metodológicos. El primero corresponde a comparaciones de concentraciones de dióxido de azufre con tres escenarios regulatorios, que incluyen una evaluaciones en resoluciones temporales horarias, diarias y anuales. El segundo aspecto corresponde a una evaluación de riesgo en las zonas de estudio. El tercer aspecto corresponde a una evaluación económica y social. Cada uno de estos tres aspectos se presentan de forma separada en este capítulo.

## 5.2. Evaluación de escenarios normativos

### 5.2.1. Metodología

El estudio considera la evaluación de escenarios normativos a diferentes resoluciones temporales (horaria, diaria y anual) considerando normativas internacionales (ver Tabla 54). Esta evaluación se realizó considerando el peor escenario por cada zona del estudio. Para esto se seleccionaron una o dos estaciones por zona utilizando como criterio de selección los mayores valores históricos del percentil 99<sup>54</sup>.

**Tabla 54. SO<sub>2</sub> Normativa Internacional**

Concentración de SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> N)			
País	1 hora	24 horas	Anual
México	524	288	66
China (1)	500	150	--
Reino Unido	350	--	--
Comunidad Europea	350	125	--
EEUU	197	--	--
Chile	--	250	80
India	--	80	50
OMS	--	125 (OI1) 50 (OI2)	--

<sup>54</sup> Para zonas de menor extensión geográfica se seleccionó una estación, para zonas más extensas o donde la condición geográfica cambia se seleccionaron dos (como en Huasco donde hay estaciones cercanas al borde costero y otras al interior del valle)

<b>Concentración de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>N)</b>			
		20	
Perú	--	20	--

Los escenarios evaluados requeridos por el Ministerio del Medio Ambiente son los que se indican a continuación (Tabla 55):

**Tabla 55. Escenarios normativos considerados en el estudio**

<b>Concentración de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>N)</b>			
<b>1 hora</b>	500	350	197
<b>24 horas</b>	125	50	20
<b>Anual</b>	80	66	Dejar sin efecto el actual estándar actual

A partir de los escenarios normativos considerados se procedió a la elaboración de gráficos que dieran cuenta de la situación de superación de cada uno de los niveles de SO<sub>2</sub>.

Los gráficos muestran los promedios de concentraciones de SO<sub>2</sub> en 3 resoluciones temporales distintas: horaria (gráficos azules), diaria (gráficos grises) y anual (gráficos naranjos). Cada uno de estos promedios fue comparado con los escenarios propuestos para cada una de las resoluciones. Esto no significa que sea una evaluación de la norma, sino más bien es una comparación de los niveles de SO<sub>2</sub> actuales e históricos con los niveles propuestos como límite.

Por otra parte se realiza un conteo de la cantidad de horas y días que son superados los niveles propuestos anteriormente.

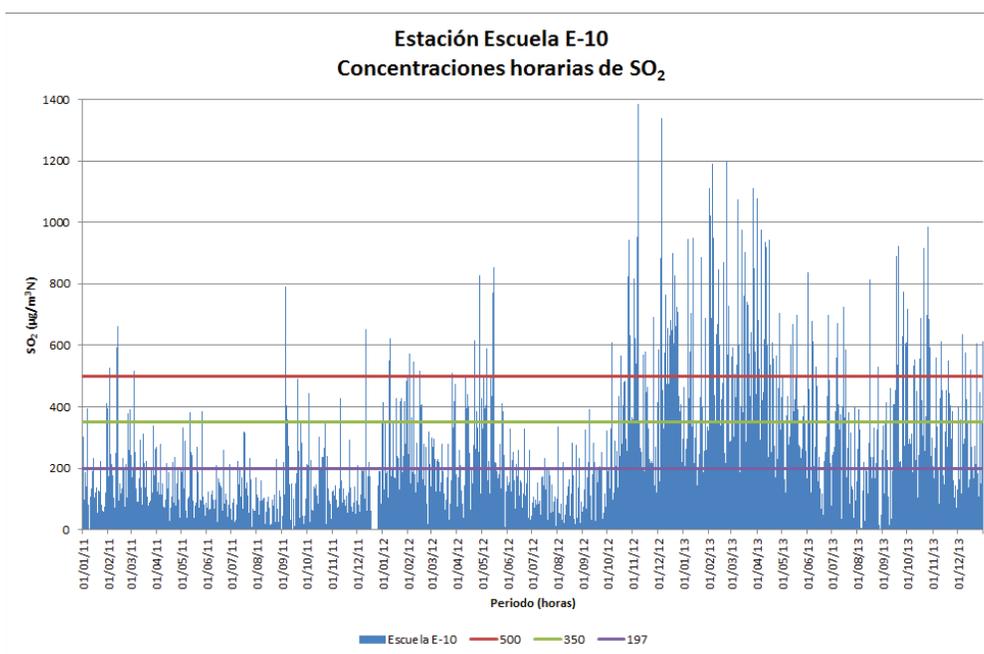
Para el caso de la resolución anual, se calcula el promedio aritmético para cada año, independiente del número de días con datos válidos en dicho año. Idealmente los promedios deben cumplir con el 75% mínimo de información, cuando no cumple se informa con valores de color rojo.

Por último se realizó una comparación de los valores horarios de SO<sub>2</sub> con los niveles de emergencia actualmente vigentes. Esta información se presenta tabulada.

## 5.2.2. Resultados

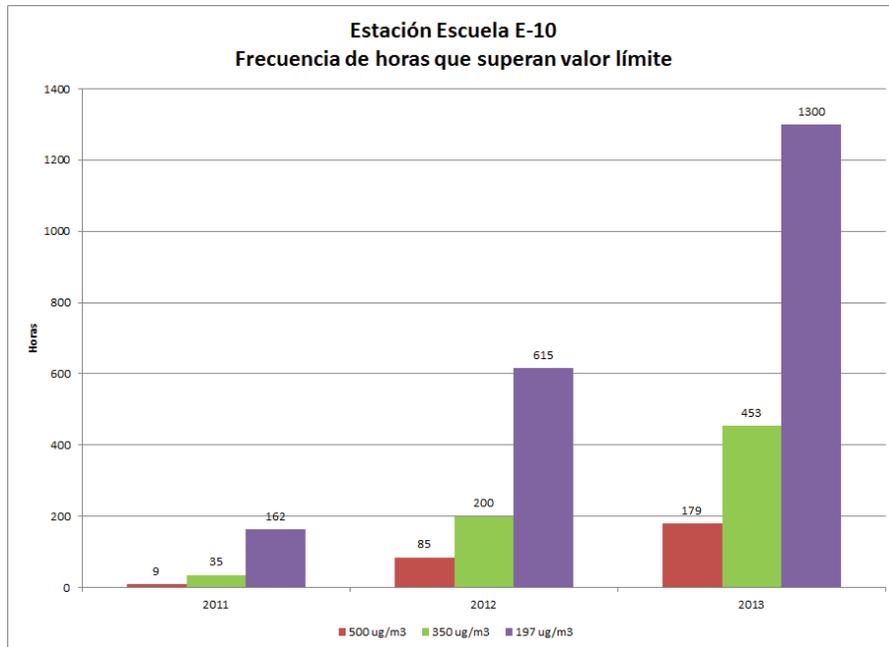
### Situación de superación de niveles de SO<sub>2</sub>, resolución horaria

#### i) Tocopilla



**Figura 132. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Escuela E-10, Tocopilla**

La Figura 132 muestra las concentraciones horarias en la estación Escuela E-10 y los escenarios normativos considerados en el estudio para dicha resolución temporal. Durante el año 2013 se observa la mayor cantidad de superaciones de los valores propuestos.



**Figura 133. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Escuela E-10, Tocopilla**

De la figura se puede desprender que durante el año 2013 se registró el mayor número de superaciones para los 3 escenarios considerados. Desde el año 2011 al 2013 se observa una tendencia al aumento en las superaciones. El escenario más estricto es siempre el que presenta mayor número de superaciones.

ii) Calama

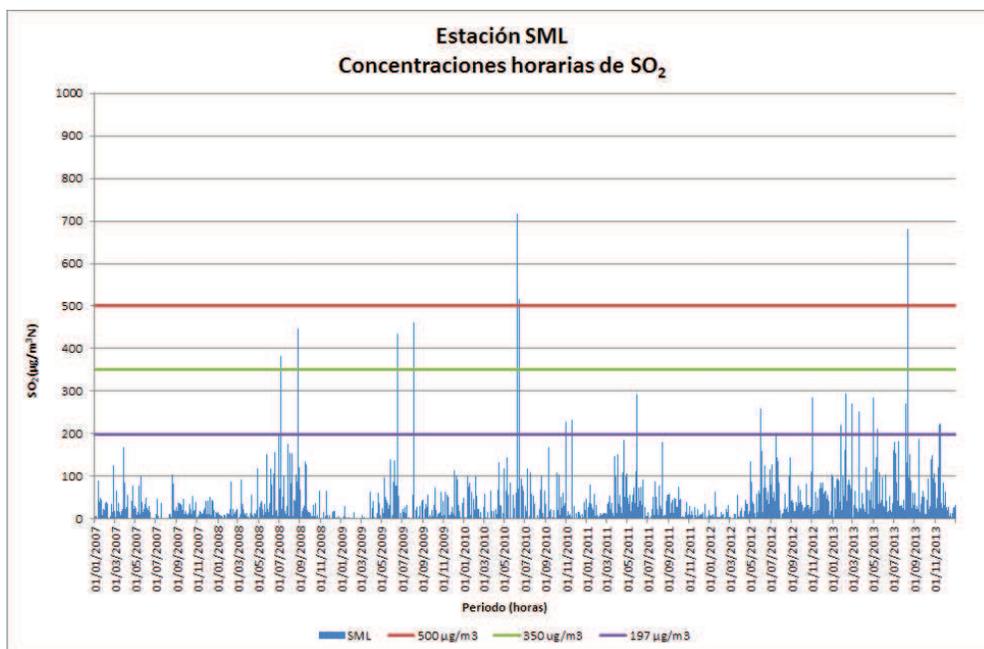
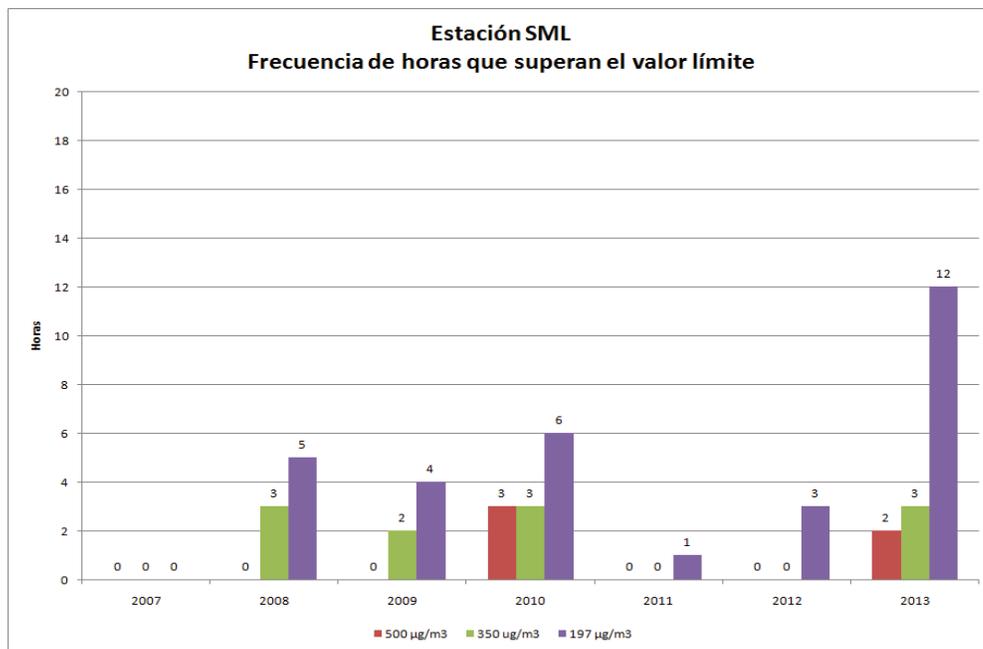


Figura 134. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación SML, Calama

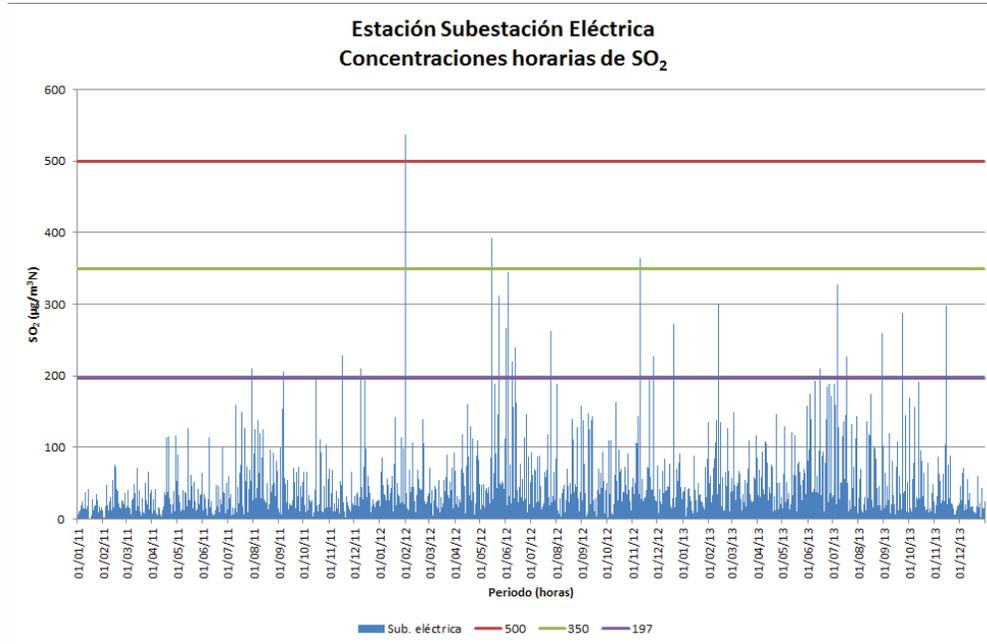
En la Figura 134 se muestran las concentraciones horarias desde el año 2007 hasta el 2013 para la estación SML con los respectivos escenarios regulatorios considerados. Hacia el año 2013 las concentraciones aumentan en magnitud, superando con mayor frecuencia el escenario más estricto propuesto.



**Figura 135. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación SML, Calama**

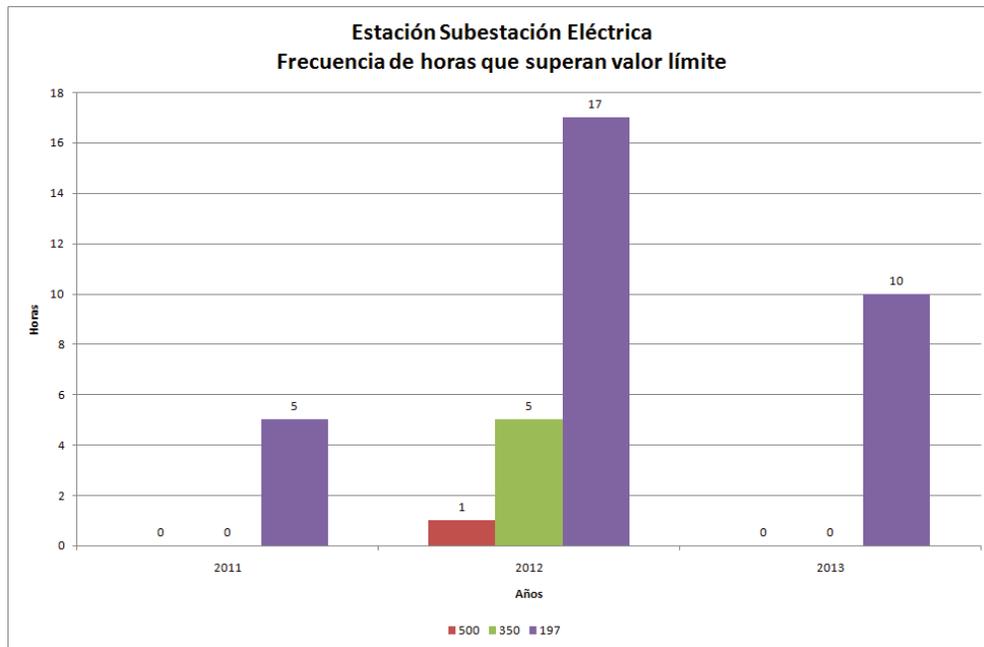
En la Figura 135 puede apreciar que las superaciones de la norma horaria para los 3 escenarios propuestos son escasas. Durante el año 2013 se observa un aumento en el número de horas con superación para la norma de  $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en comparación con los años antecesores.

### iii) Mejillones



**Figura 136. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Subestación Eléctrica, Mejillones**

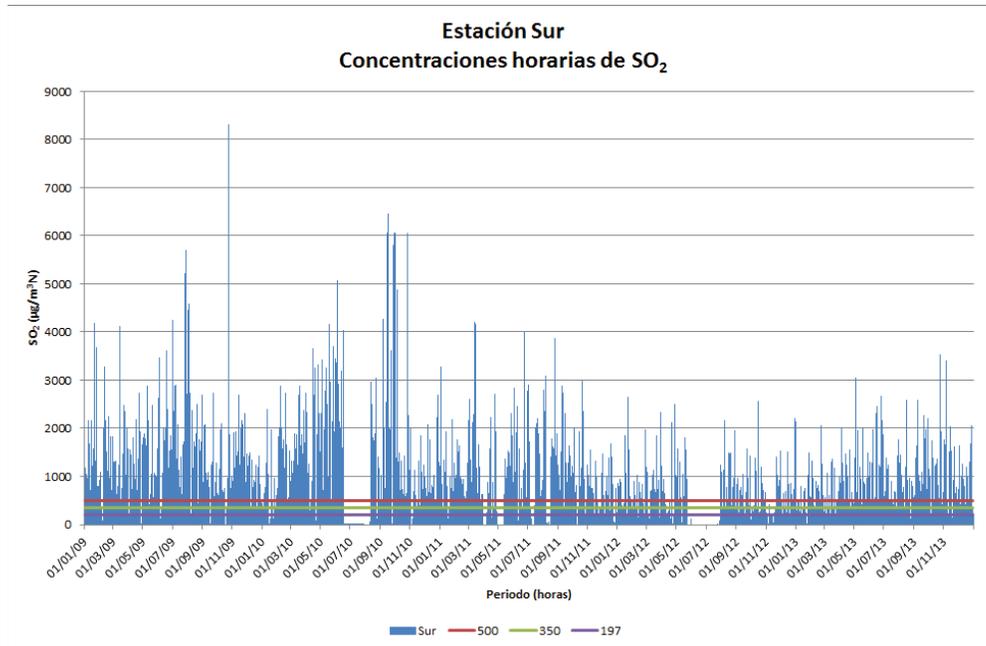
La figura anterior muestra las concentraciones horarias de  $\text{SO}_2$  para la estación Subestación Eléctrica en Mejillones, más los escenarios regulatorios propuestos.



**Figura 137. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Subestación Eléctrica, Mejillones**

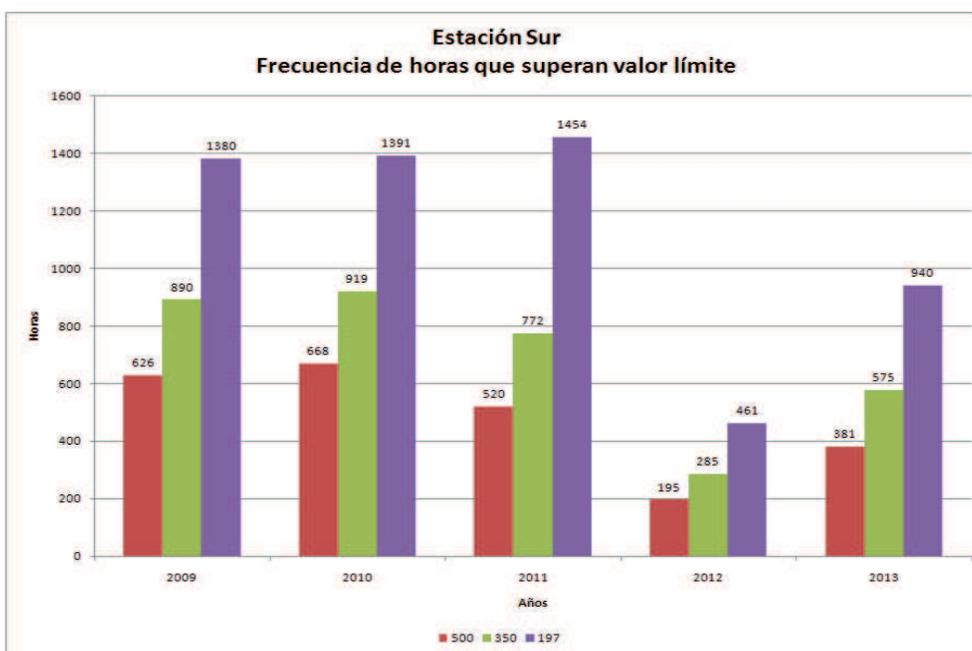
En la Figura 137 se puede apreciar que en Mejillones se supera, prácticamente, solo la norma de 197  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como concentración horaria. En los 3 años analizados sólo se superó una vez la normativa de 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y cinco veces la de 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

iv) Antofagasta – La Negra (Sur y Coviefi)



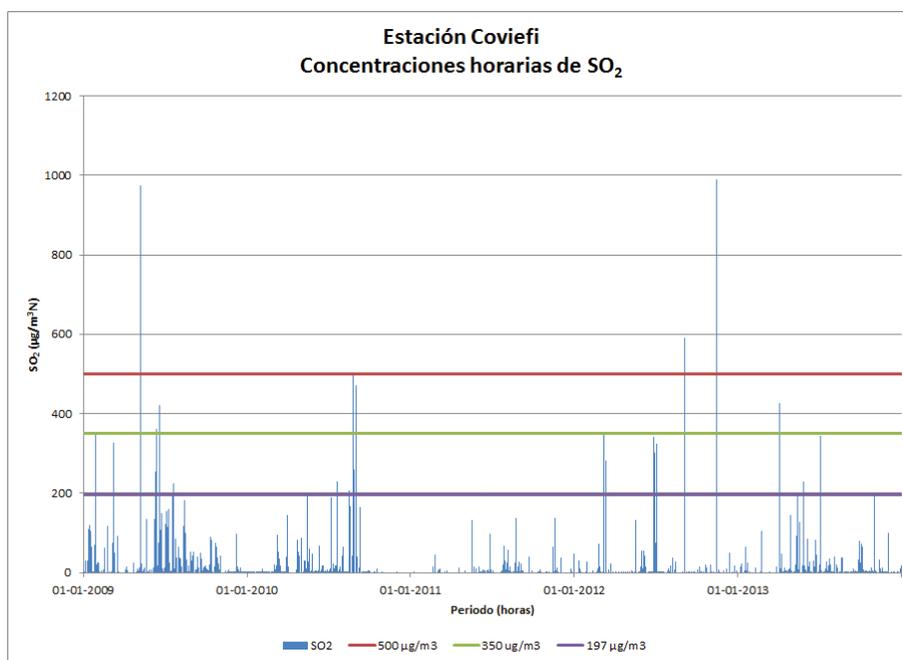
**Figura 138. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Sur, Antofagasta – La Negra**

En la figura se muestran las concentraciones horarias y las normativas regulatorias propuestas para la estación Sur. Se puede apreciar una tendencia a la disminución, en general, en las concentraciones entre los años 2009 y 2013.



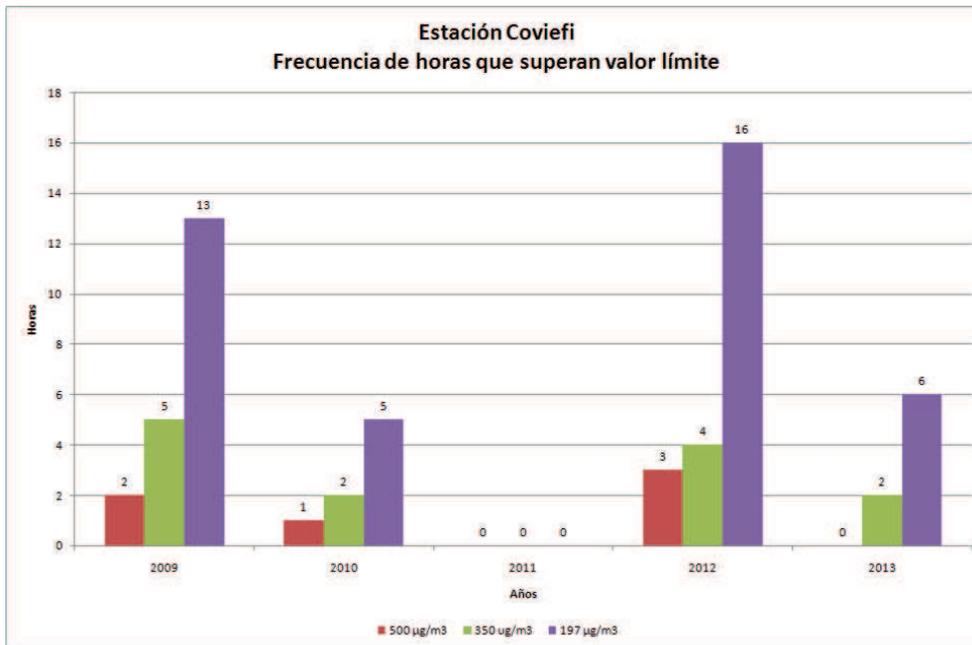
**Figura 139. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Sur, Antofagasta - La Negra**

En la Figura 139 se puede apreciar una disminución importante en las superaciones de norma entre los tres primeros años (2009, 2010 y 2011) y los años 2012 y 2013. El año 2012 presenta el menor número de superaciones para los 3 escenarios propuestos, mientras que 2013 muestra un aumento en el número de superaciones en comparación con 2012, sin embargo, está por debajo de las cifras históricas en los años 2009, 2010 y 2011.



**Figura 140. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Coviefi, Antofagasta – La Negra**

En el gráfico se muestran las concentraciones horarias para la estación Coviefi, se puede apreciar un singular comportamiento, las concentraciones se mantienen en promedio cercanas a cero, no obstante se presentan recurrentes peaks de concentraciones.



**Figura 141. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Coviefi, Antofagasta - La Negra**

En la Figura 141 se puede apreciar que en la estación Coviefi durante el año 2012 las concentraciones fueron mayores y superaron en mayor medida los niveles regulatorios propuestos. En el año 2013 no se superó la norma de 500 µg/m<sup>3</sup>.

v) Copiapó (Paipote y Tierra Amarilla)

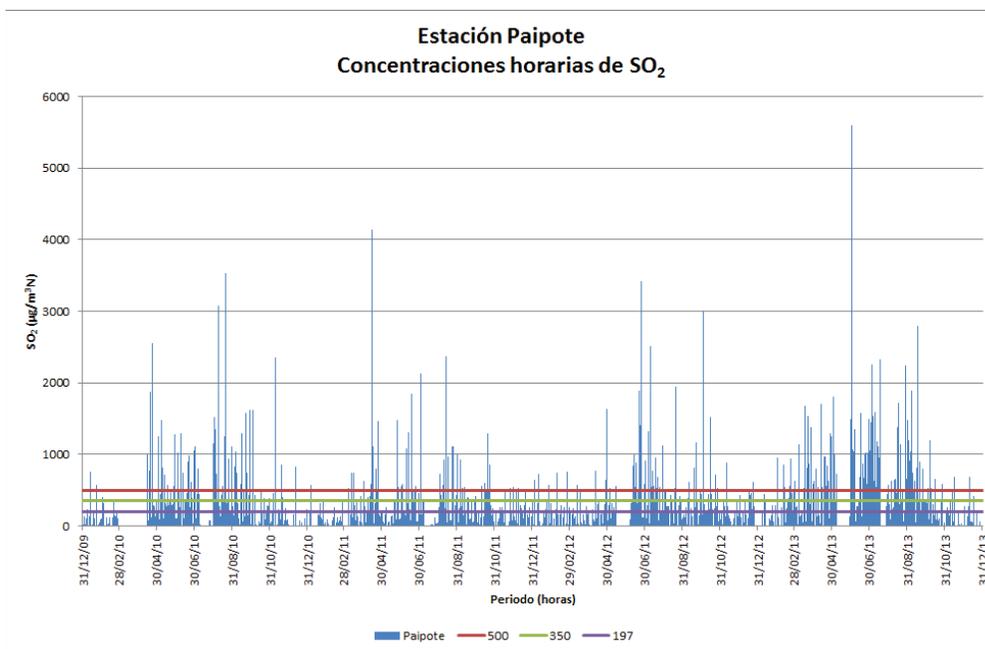
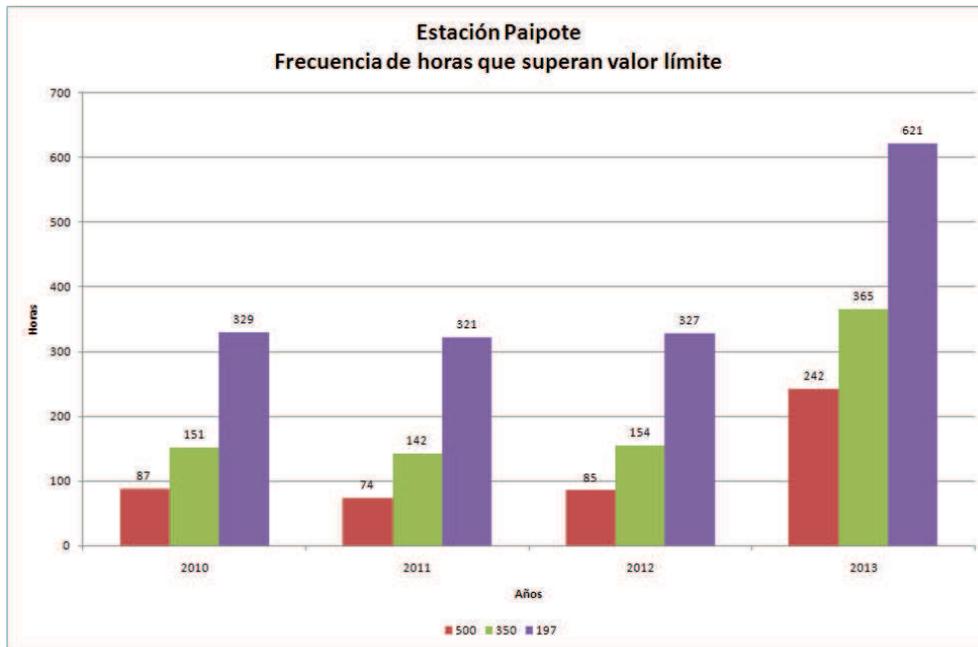


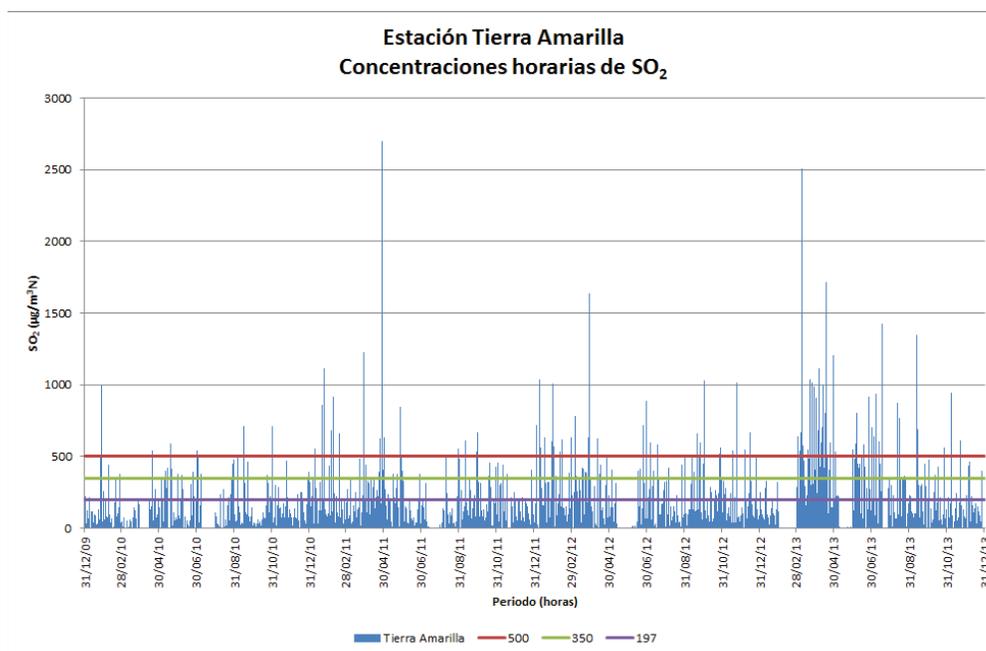
Figura 142. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Paipote, Copiapó

Para la estación Paipote se muestran las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> y las normas propuestas para evaluación. Se puede observar que durante todos los años los tres escenarios son superados en numerosas oportunidades, con una tendencia positiva en las concentraciones.



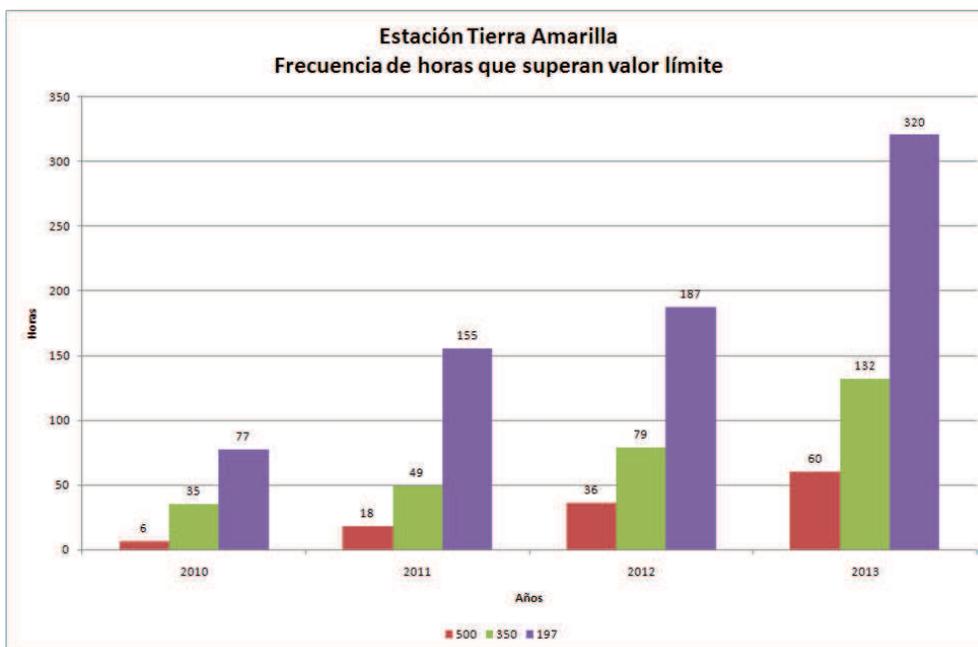
**Figura 143. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Paipote, Copiapó**

En la Figura 143 se aprecia que el número de superaciones de norma aumentó en el año 2013 en la estación Paipote, en comparación con los años 2010, 2011 y 2012 que se mantienen mayormente constantes en el número de superaciones de norma horaria.



**Figura 144. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Tierra Amarilla, Copiapó**

La figura muestra las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> entre los años 2010 y 2013 en la estación Tierra Amarilla. Se puede apreciar que los escenarios regulatorios propuestos son superados todos los años. El año 2013 se aprecia con un aumento en las concentraciones.



**Figura 145. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Tierra Amarilla, Copiapó**

En la Figura 145 se puede apreciar que existe una tendencia al aumento en el número de las superaciones horarias entre los años 2010 y 2013 para los 3 escenarios regulatorios propuestos. Estos resultados son similares a los observados en la estación Paipote en la zona Copiapó-Paipote.

vi) Huasco (Compañía de Bomberos Huasco Bajo y Escuela José Miguel Carrera)

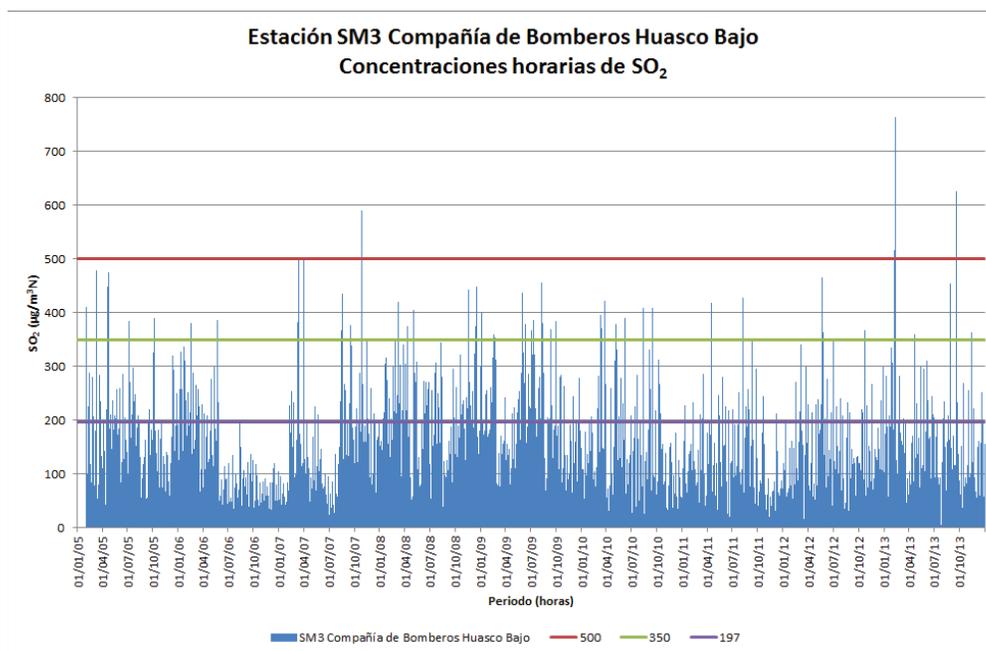
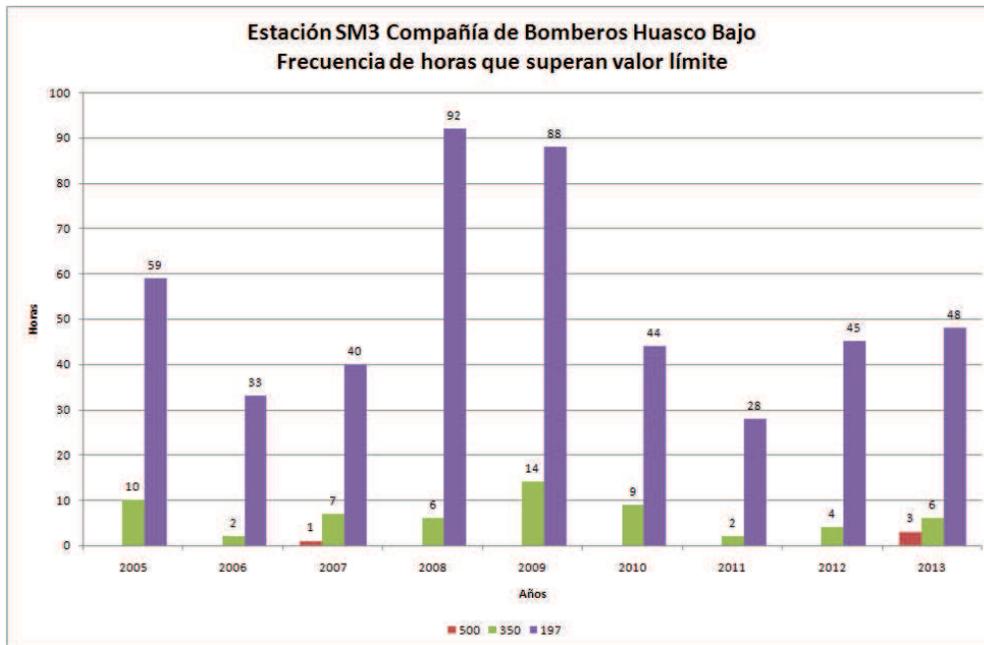


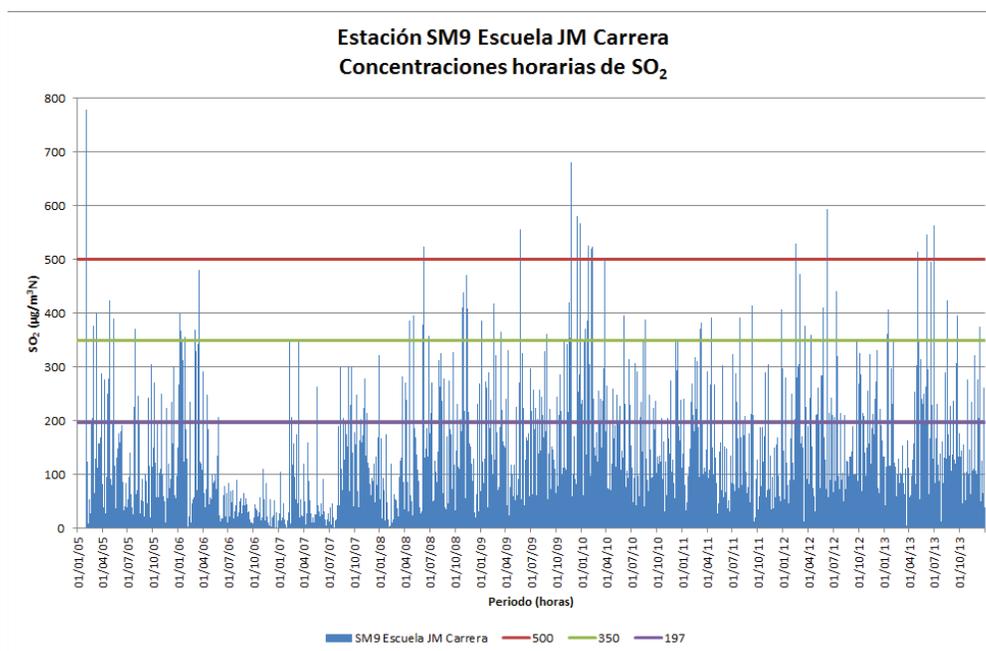
Figura 146. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco

La figura muestra las concentraciones horarias en la estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo entre los años 2005 y 2013, más los 3 escenarios regulatorios propuestos. Se observa un comportamiento constante en el tiempo, la mayoría de las concentraciones se presentan entre el escenario de 197 y 350 µg/m<sup>3</sup>.



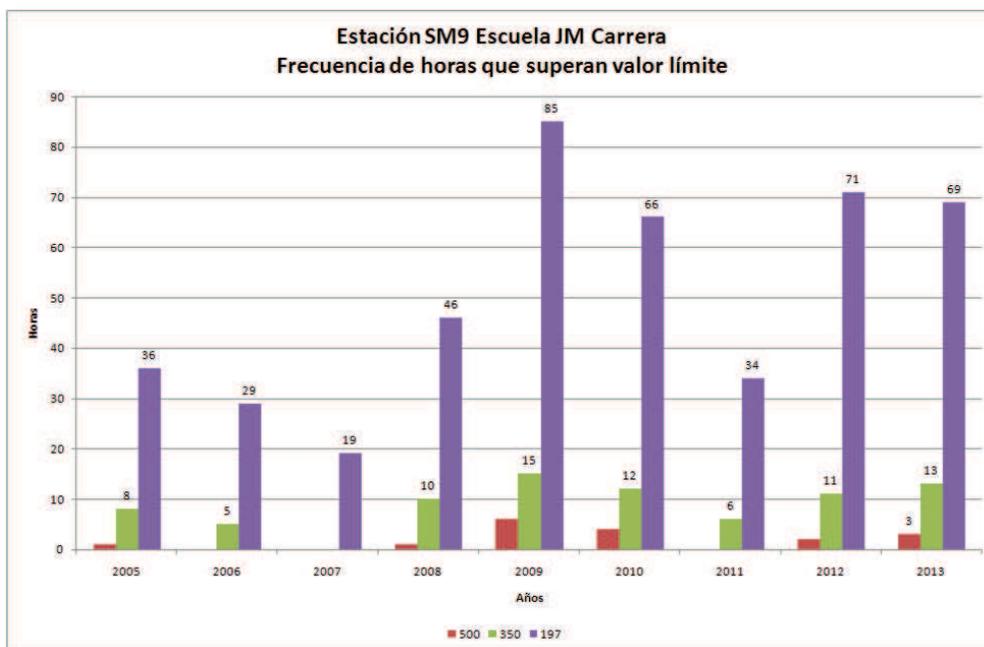
**Figura 147. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación SM9 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco**

En la Figura 147 se muestra el número de horas que se superaron los 3 escenarios propuestos de regulación. Se puede apreciar que la normativa de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es superada solo 3 veces durante el año 2013 y la normativa de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es superada 2, 4 y 6 veces en los últimos 3 años respectivamente. Entre 2010 y 2013 el escenario más estricto,  $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se ha mantenido relativamente constante en cuanto al número de horas superadas.



**Figura 148. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Escuela J.M. Carrera, Huasco**

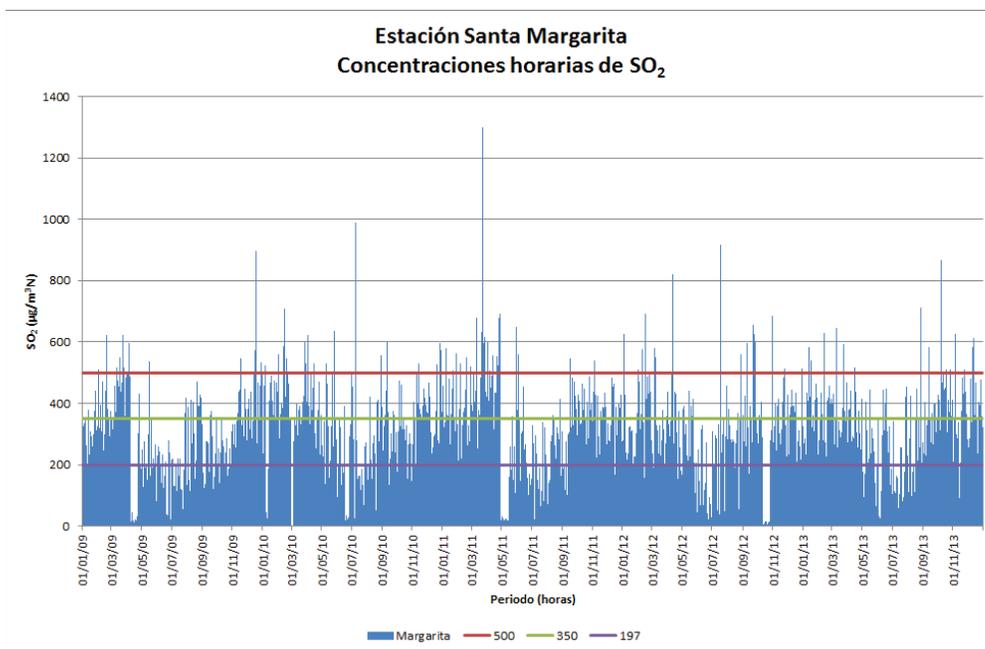
En la figura se muestran las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> y los escenarios propuestos en la estación Escuela José Miguel Carrera.



**Figura 149. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Escuela J.M. Carrera, Huasco**

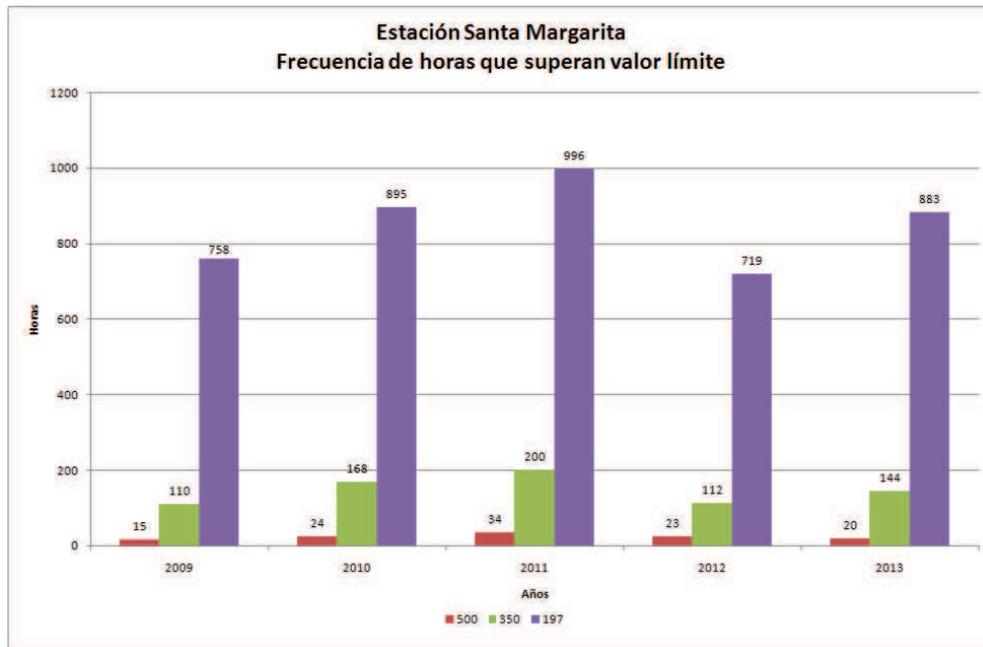
En la Figura 149 se muestra el número de horas de superación de los 3 escenarios propuestos entre los años 2005 y 2013 para la estación Escuela José Miguel Carrera. Los escenarios 350 y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  son superados en aisladas ocasiones en el periodo estudiado, similar a lo observado en la estación SM3 en Huasco.

vii) Catemu – Llay Llay



**Figura 150. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay**

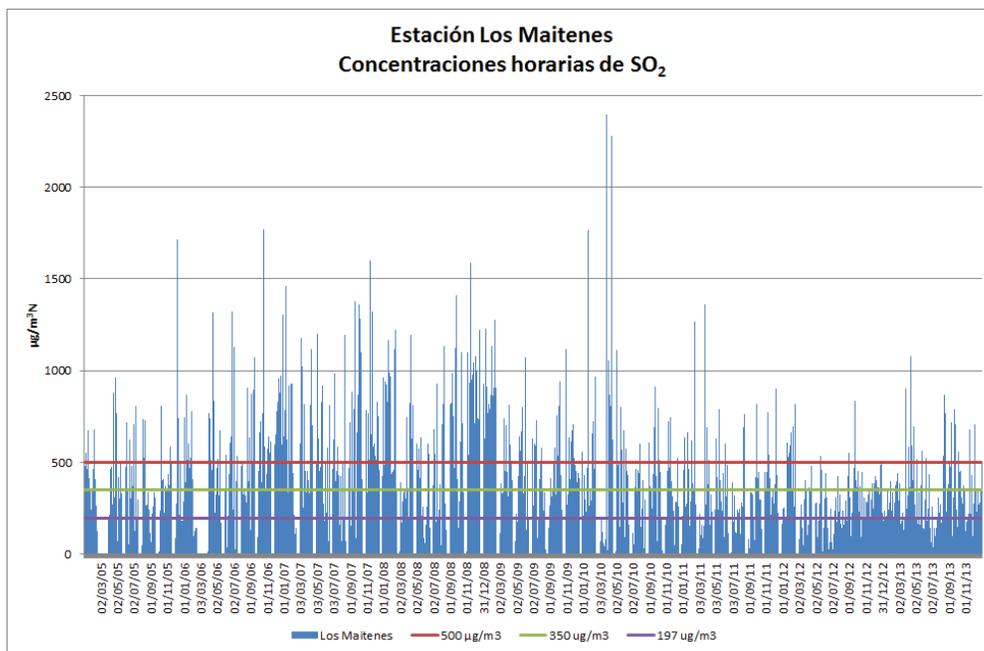
En la figura anterior se muestran las concentraciones de SO<sub>2</sub> en la estación Santa Margarita entre los años 2009 y 2013.



**Figura 151. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay**

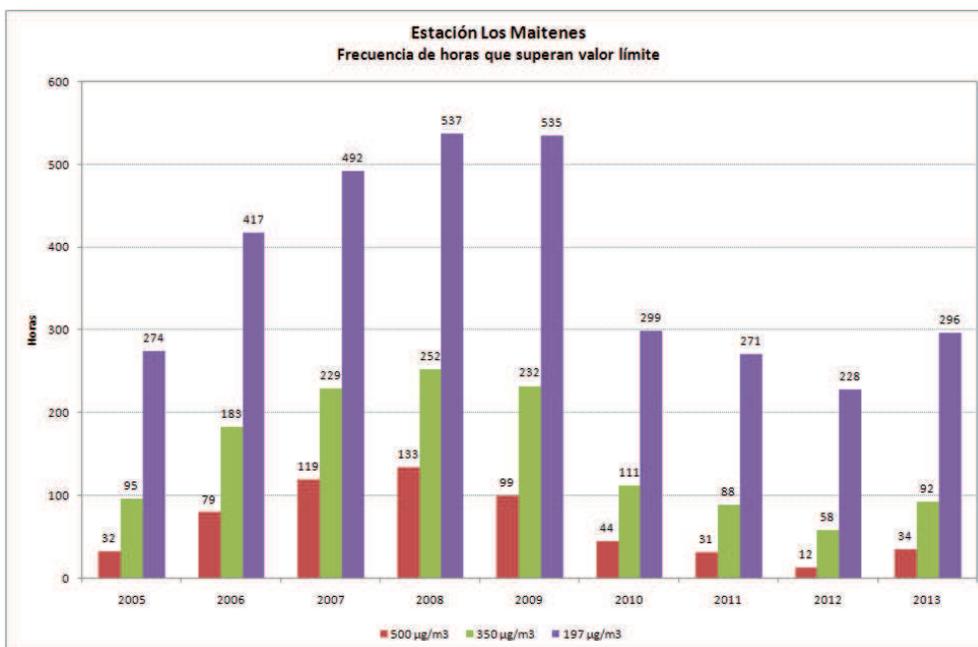
En la estación Santa Margarita, el número de superaciones horarias de los 3 escenarios propuestos se ha mantenido constante entre los años 2009 y 2013.

viii) **Quintero – Puchuncaví (Los Maitenes y GNL)**



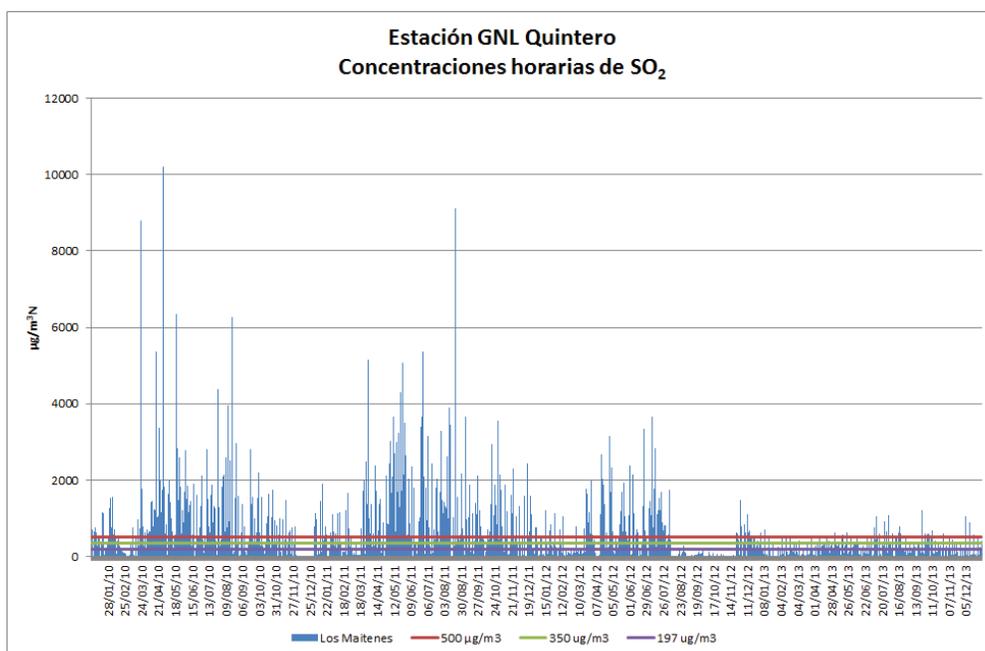
**Figura 152. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Los Maitenes, Quintero - Puchuncaví**

La figura muestra las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en la estación Los Maitenes entre los años 2005 y 2013. Se observa una disminución en las concentraciones, y por consiguiente en el número de horas sobre los valores límites propuestos, desde el año 2010.



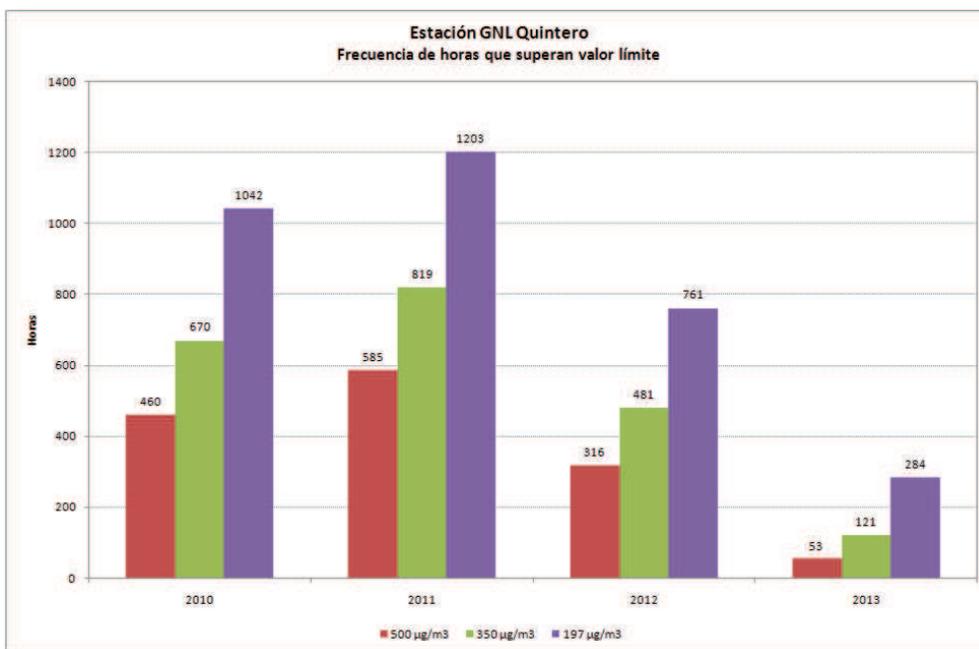
**Figura 153. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Los Maitenes, Quintero - Puchuncaví**

En la estación Los Maitenes se aprecia una disminución en el número de horas con superación de norma desde el año 2010. Es a partir de 2010 cuando se revierte la tendencia al aumento que existía entre 2005 y 2009.



**Figura 154. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación GNL Quintero, Quintero - Puchuncaví**

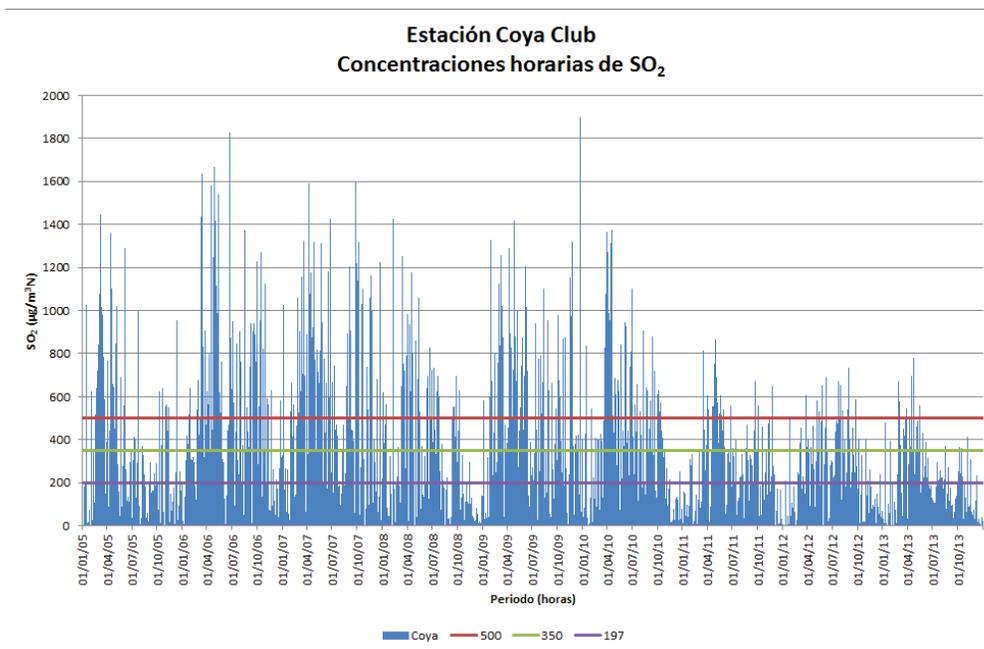
La figura muestra las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en la estación GNL Quintero, se puede apreciar una disminución en los valores extremos altos a partir del año 2012.



**Figura 155. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación GNL Quintero, Quintero - Puchuncaví**

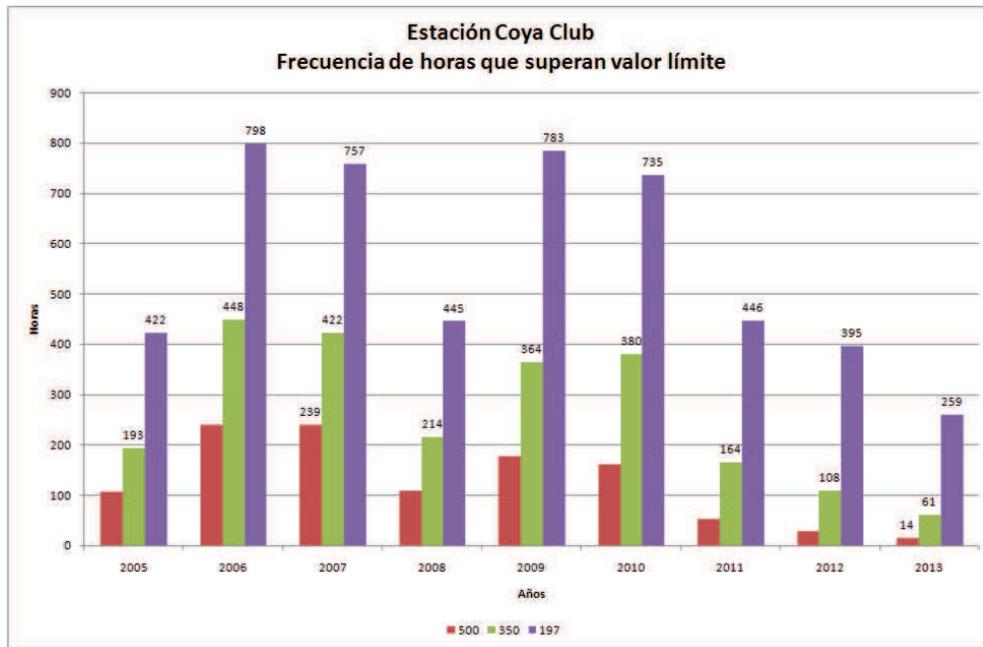
En la Figura 155 se muestra el número de horas con superación de norma para los 3 escenarios propuestos en la estación GNL Quintero. Se puede apreciar que el año 2013 está por debajo de los años antecesores.

ix) Machalí – Coya



**Figura 156. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Coya Club, Machalí - Coya**

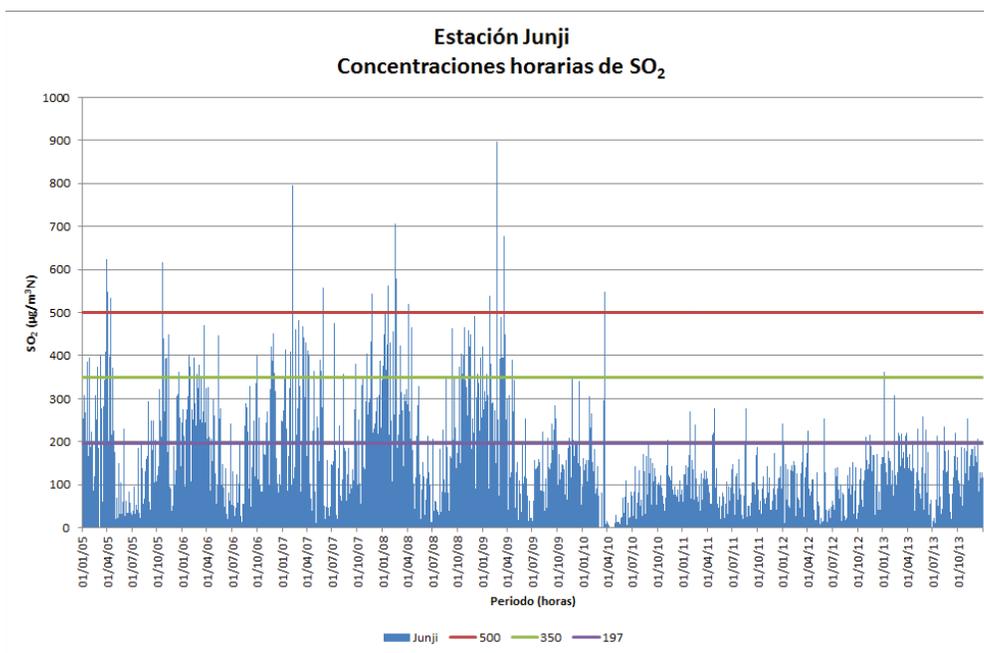
La figura muestra las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> en la estación Coya Club entre los años 2005 y 2013 y la comparación con los 3 escenarios regulatorios propuestos. Se puede apreciar una disminución en las concentraciones a partir del año 2011.



**Figura 157. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Coya Club, Machalí - Coya**

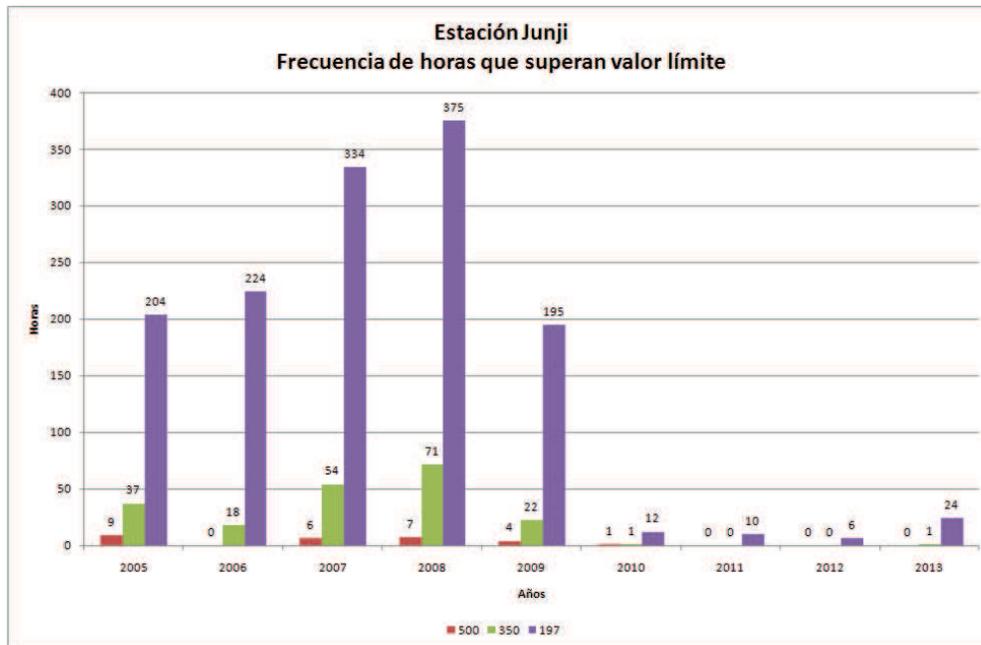
En la Figura 157 se muestran las superaciones de norma horaria entre 2005 y 2013 en Coya Club. Se puede observar que desde el año 2009 existe una tendencia a la disminución en las superaciones de norma para los 3 escenarios propuestos.

x) Coronel – Lota – Hualpén - Talcahuano



**Figura 158. Concentraciones horarias y escenarios regulatorios propuestos estación Junji, Coronel – Lota – Hualpén - Talcahuano**

En la estación Junji, las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> muestran una disminución en los valores desde el año 2010, como se puede apreciar en la figura.

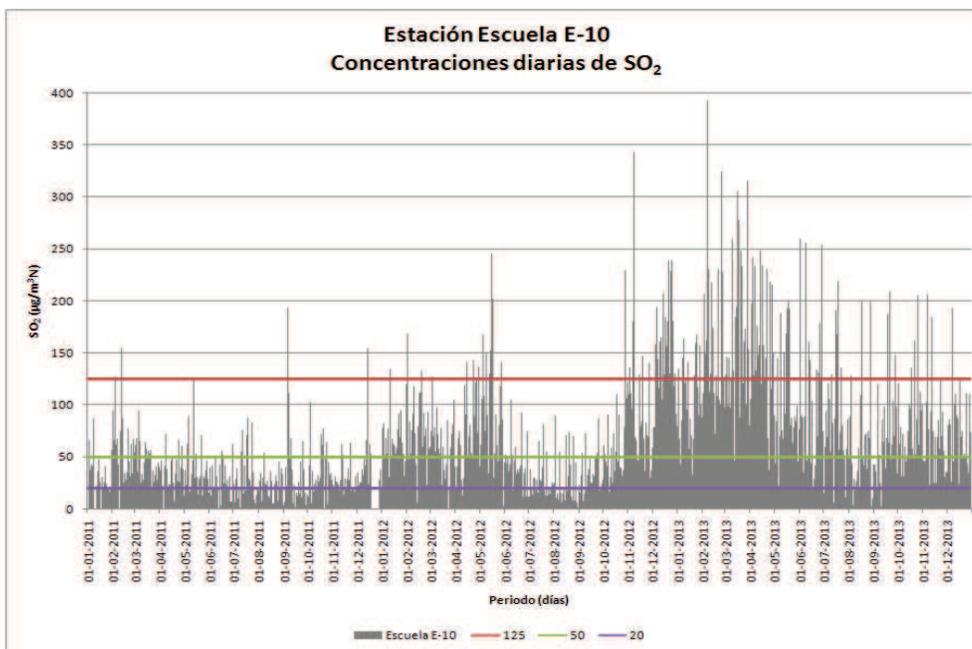


**Figura 159. Superación de valores propuestos para la norma horaria estación Junji, Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano**

En la Figura 159 se puede apreciar que desde el año 2010 las superaciones de norma son escasas y prácticamente solo de la norma de 197  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

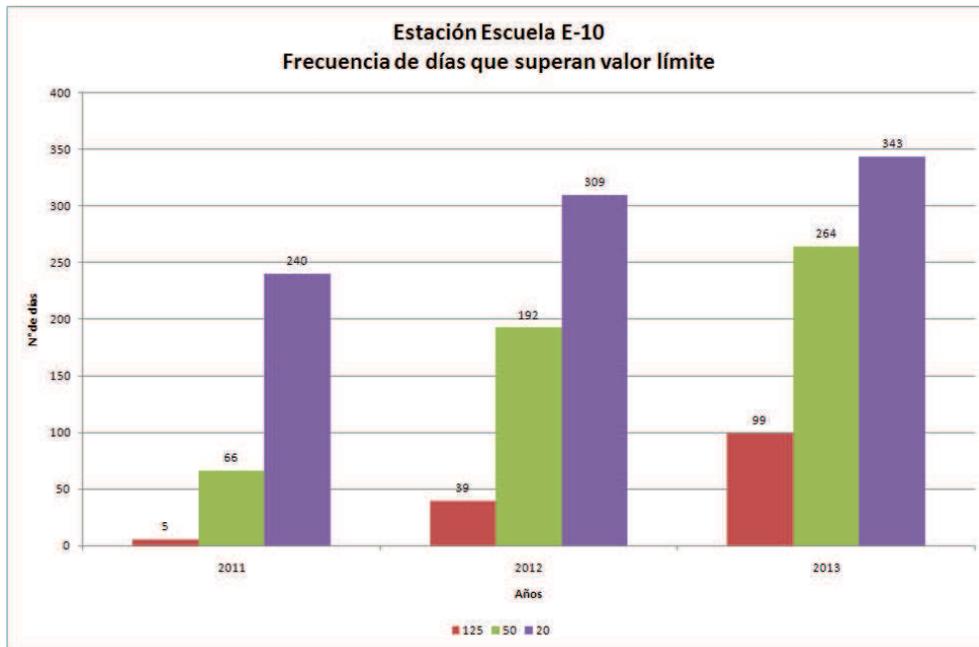
## Situación de superación de niveles de $\text{SO}_2$ , resolución diaria

### i) Tocopilla



**Figura 160. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Escuela E-10, Tocopilla**

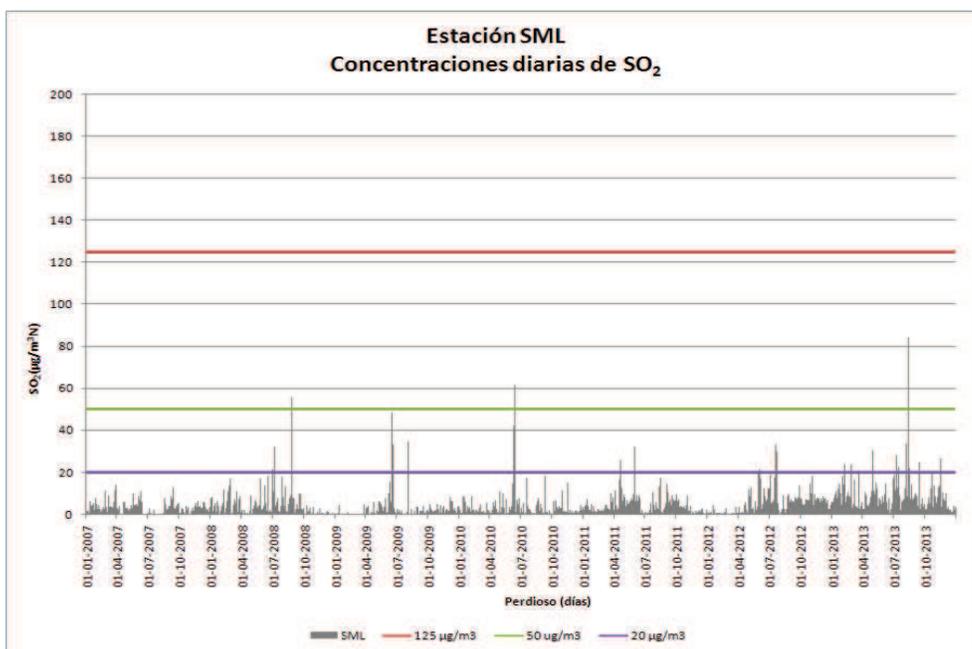
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Escuela E-10 y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



**Figura 161. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Escuela E-10, Tocopilla**

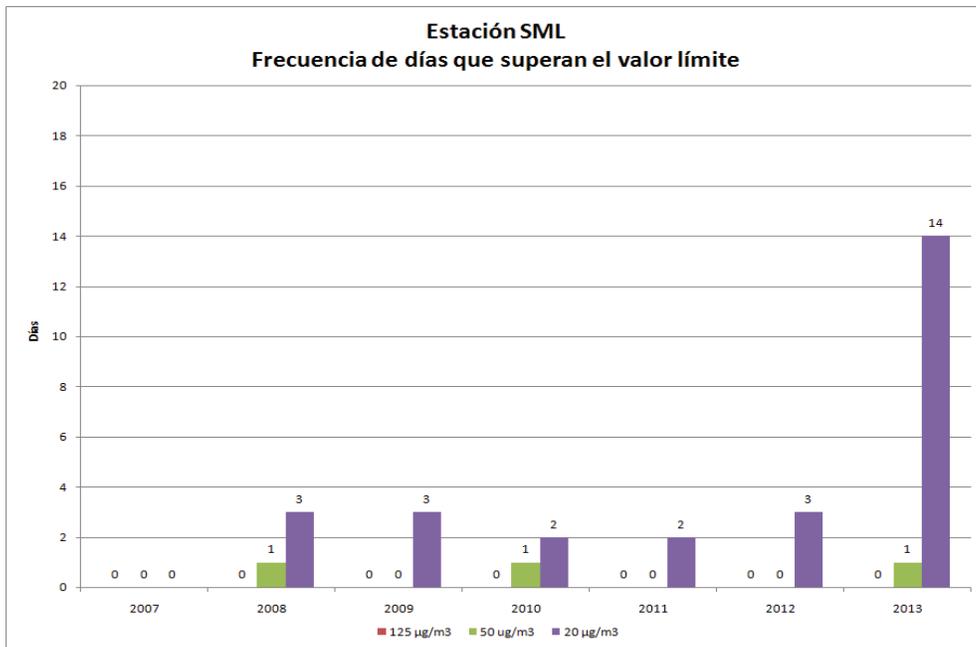
En la Figura 161 se muestra el número de superaciones de los escenarios regulatorios propuestos para la norma diaria. Se puede apreciar una tendencia al aumento en las superaciones de norma entre los años 2011 y 2013.

ii) Calama



**Figura 162. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación SML, Calama**

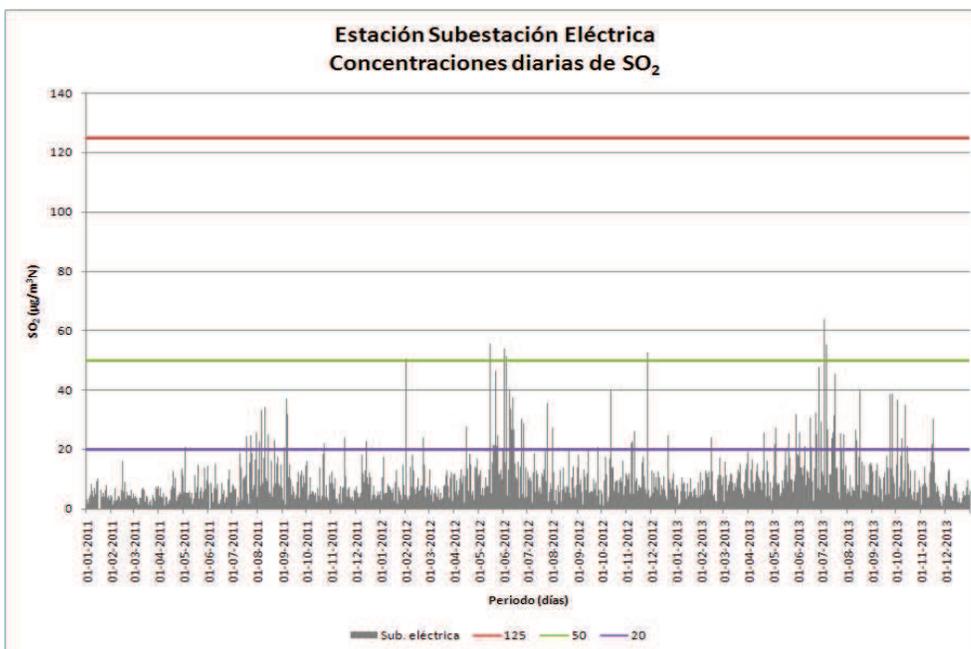
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en la estación Escuela SML y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



**Figura 163. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación SML, Calama**

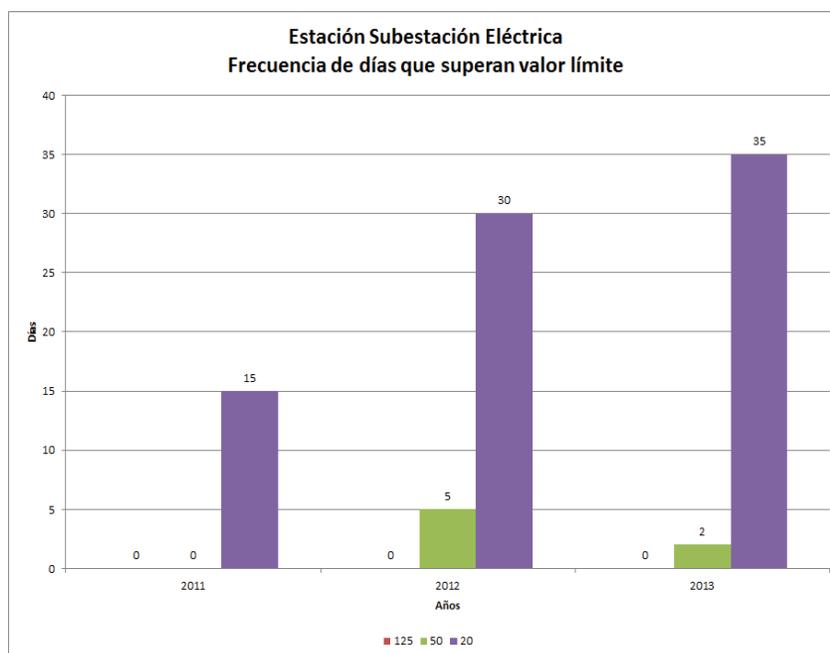
En la Figura 163 se puede apreciar que el mayor número de superaciones del escenario  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se produce durante 2013. Prácticamente no se superan los otros 2 escenarios propuestos.

iii) Mejillones



**Figura 164. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Subestación Eléctrica, Mejillones**

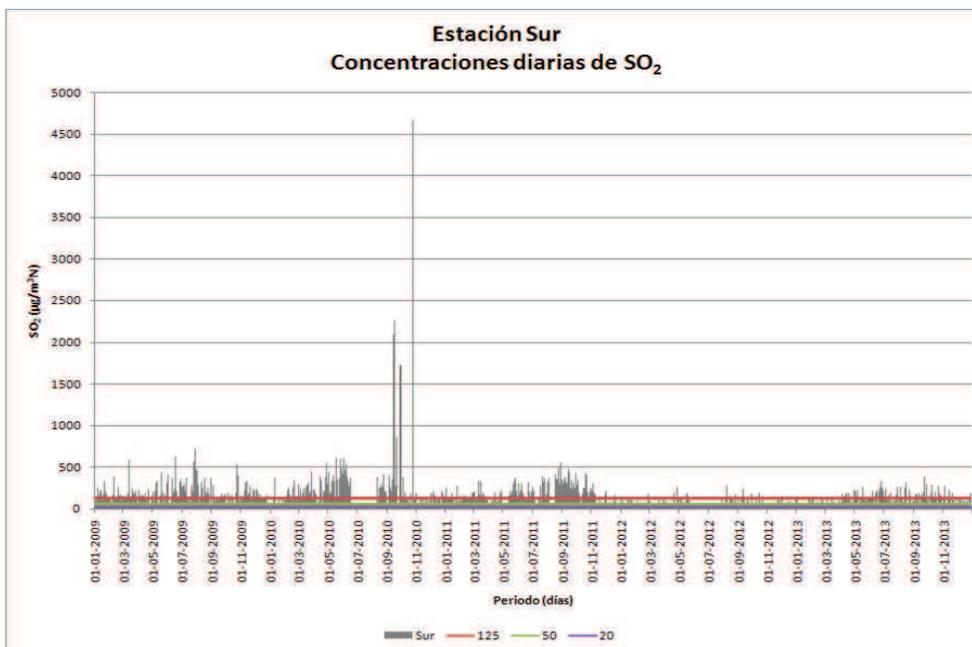
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Subestación Eléctrica entre los años 2011 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



**Figura 165. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Subestación Eléctrica, Mejillones**

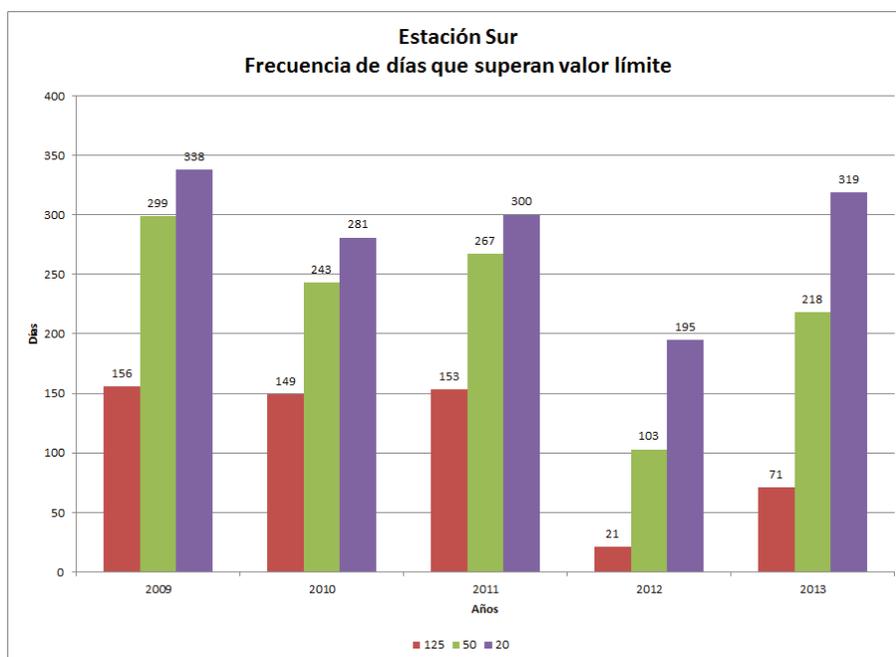
En la Figura 165 se puede apreciar que existe una tendencia al aumento en las superaciones de la norma de 20 µg/m<sup>3</sup>, no obstante, la normativa de 125 µg/m<sup>3</sup> no es superada en los 3 años estudiados.

#### iv) Antofagasta – La Negra (Sur y Coviefi)



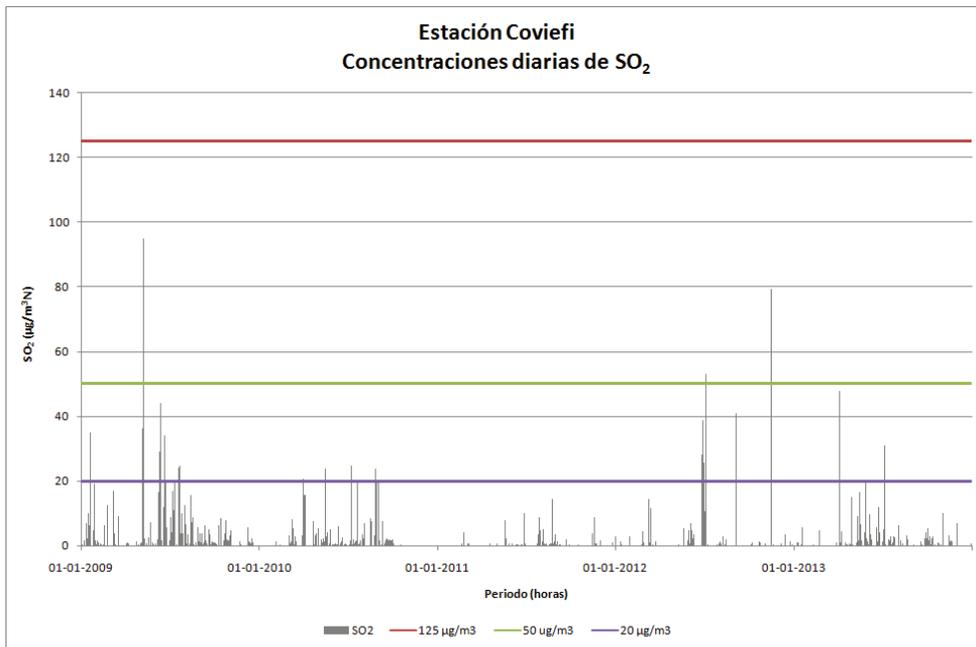
**Figura 166. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Sur, Antofagasta – La Negra**

En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en la estación Sur entre los años 2009 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Destaca en la figura la ocurrencia de peaks al finalizar el año 2010.



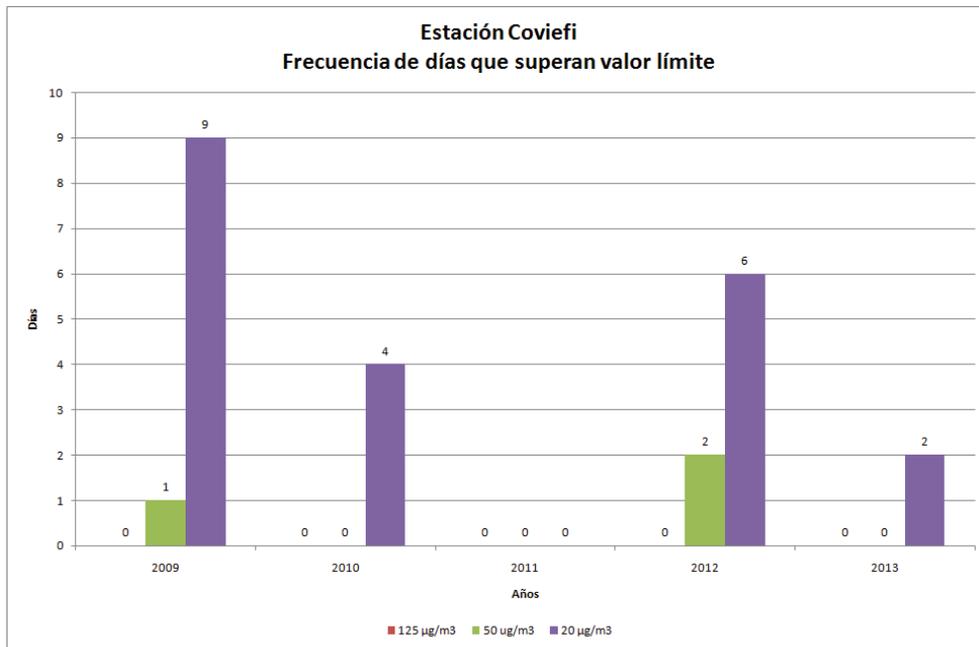
**Figura 167. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Sur, Antofagasta – La Negra**

En la Figura 167 se muestran las superaciones de las normas diarias propuestas para la estación Sur, se puede apreciar que en 2012 y 2013 disminuyó el número de superaciones de las normativas 125 y 50 µg/m<sup>3</sup> en comparación con los años anteriores, no obstante, las superaciones de la norma de 20 µg/m<sup>3</sup> se han mantenido más o menos constantes en el tiempo.



**Figura 168. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Coviefi, Antofagasta – La Negra**

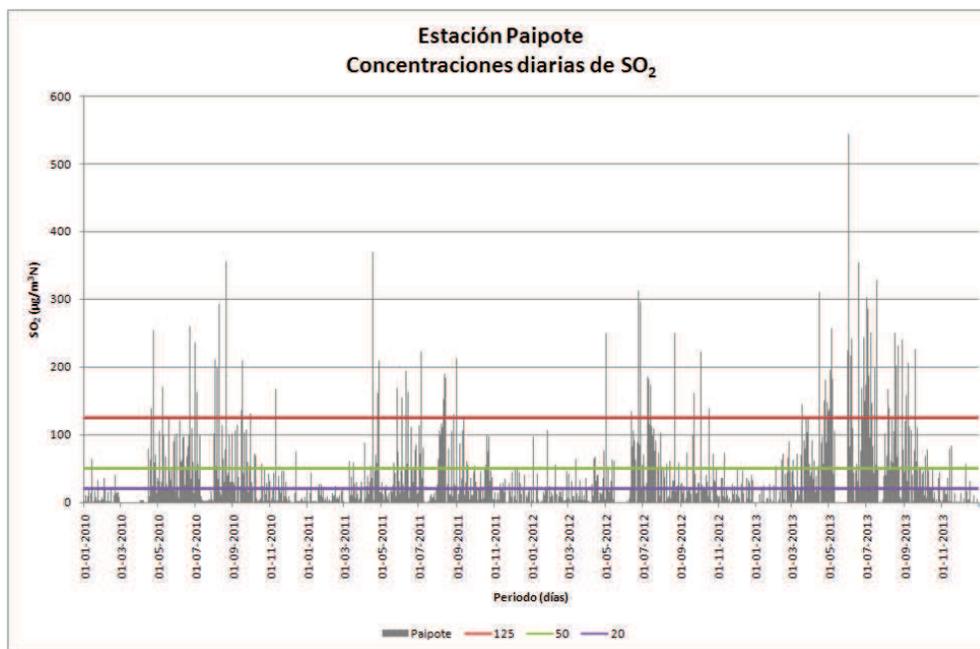
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Coviefi entre los años 2009 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Destaca que el escenario de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no es superado en los años analizados y solo es superado esporádicamente el escenario de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 169. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Coviefi, Antofagasta – La Negra**

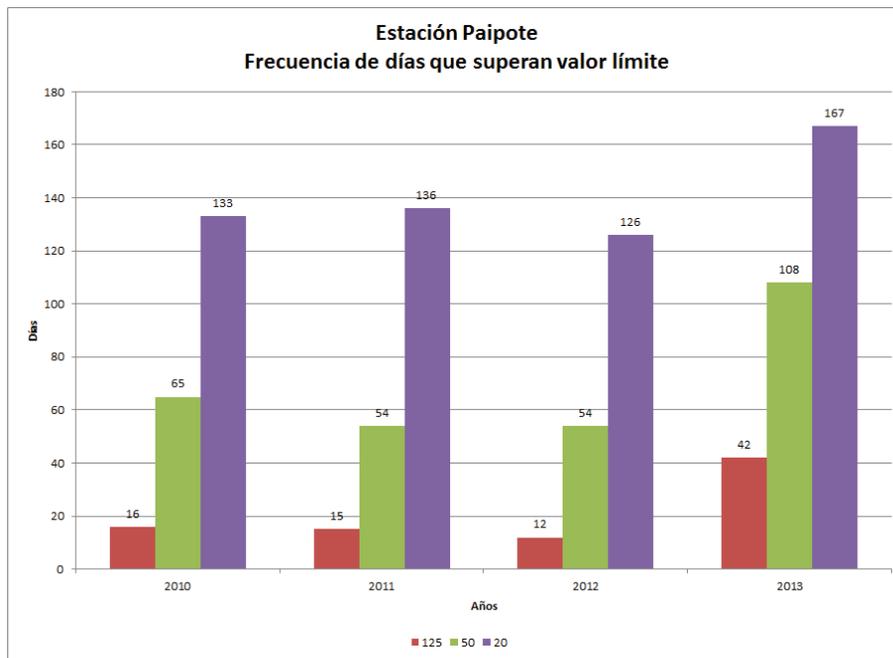
En la Figura 169 se puede apreciar que el mayor número de días se supera la norma más estricta propuesta,  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo las otras alternativas regulatorias prácticamente no son superadas en esta estación.

**v) Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla (Paipote y Tierra Amarilla)**



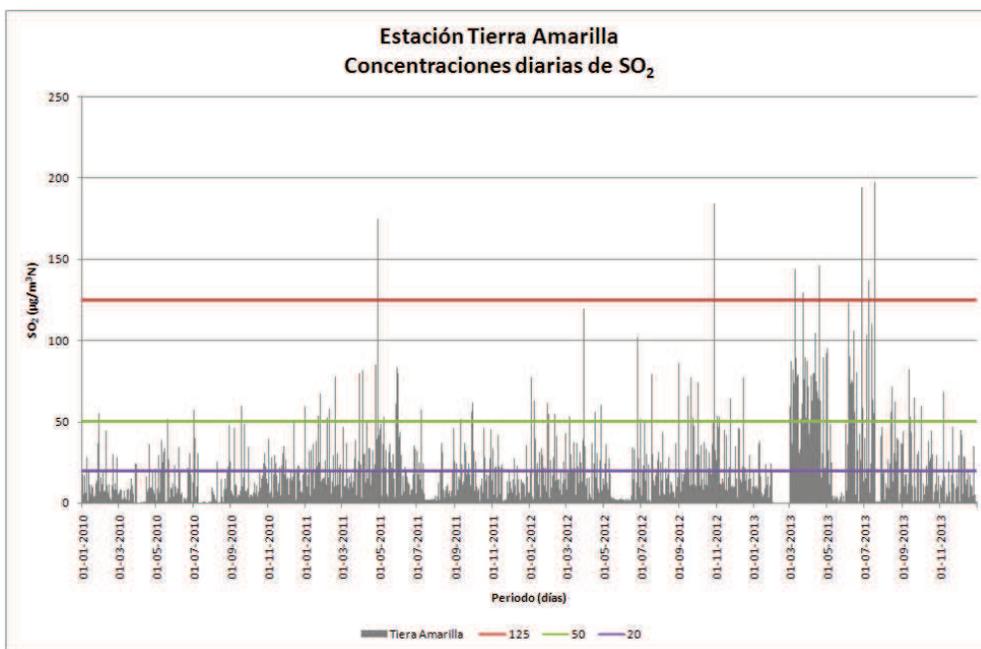
**Figura 170. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Paipote, Copiapó**

En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en la estación Paipote entre los años 2010 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



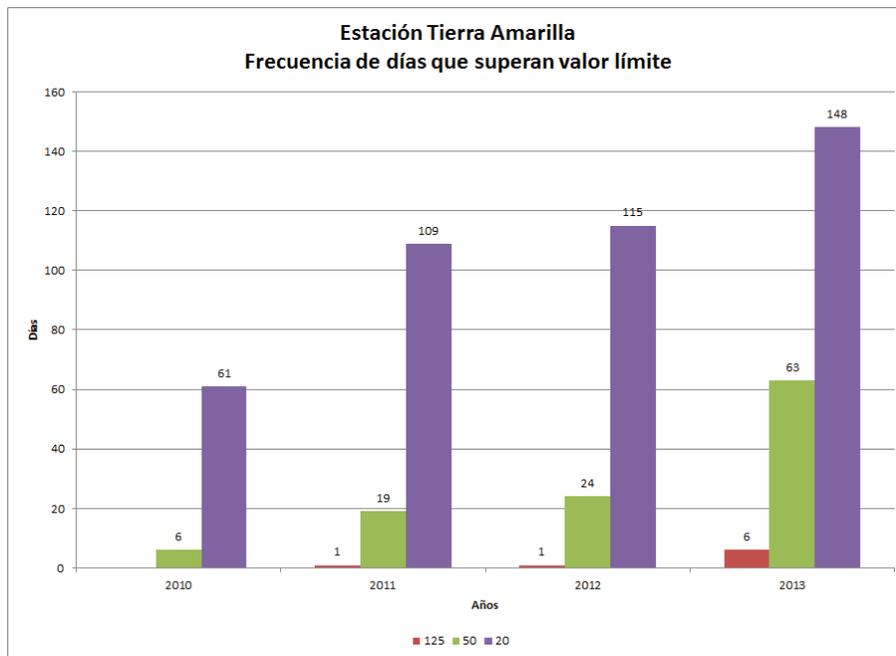
**Figura 171. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Paipote, Copiapó**

En la estación Paipote, el número de superaciones diarias se mantuvo constante entre los años 2010 y 2012, y para el año 2013 se observó un ligero aumento en el número de superaciones.



**Figura 172. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Tierra Amarilla, Copiapó**

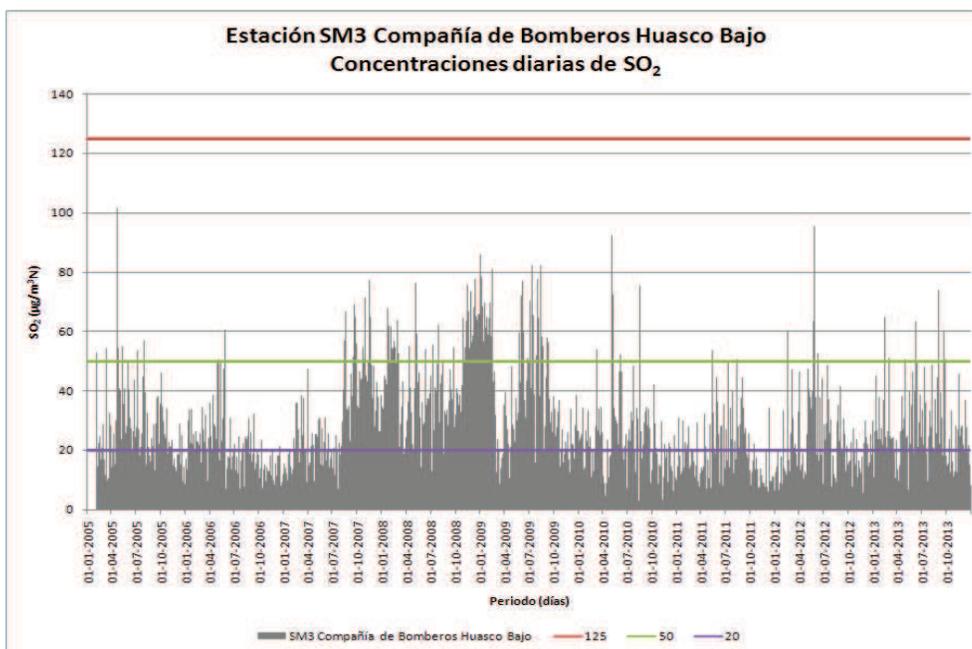
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Tierra Amarilla entre los años 2010 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



**Figura 173. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Tierra Amarilla, Copiapó**

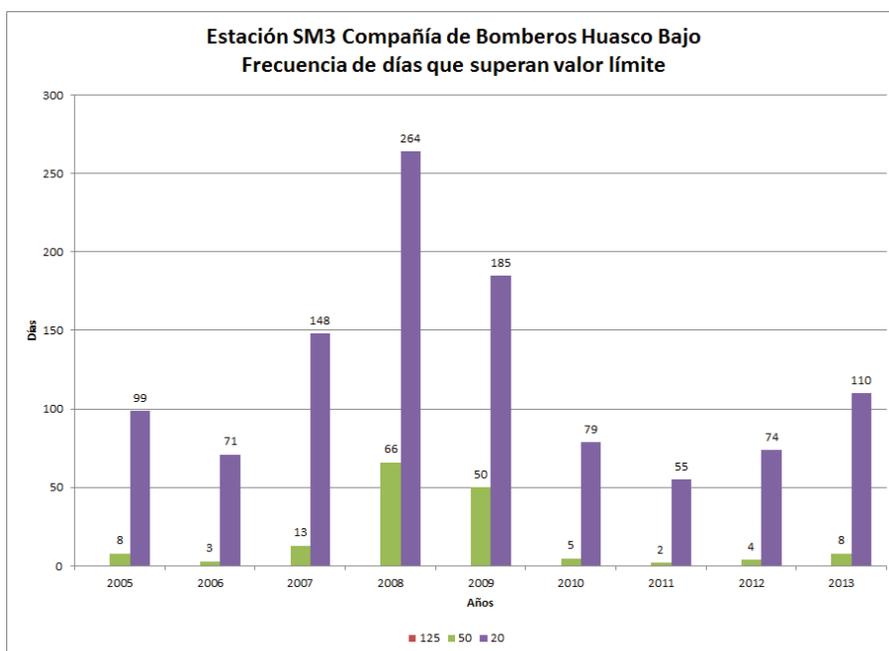
En la estación Tierra Amarilla se observa una tendencia al aumento del número de superaciones diarias, para los 3 escenarios regulatorios propuestos.

vi) Huasco (SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo y SM9 Escuela José Miguel Carrera)



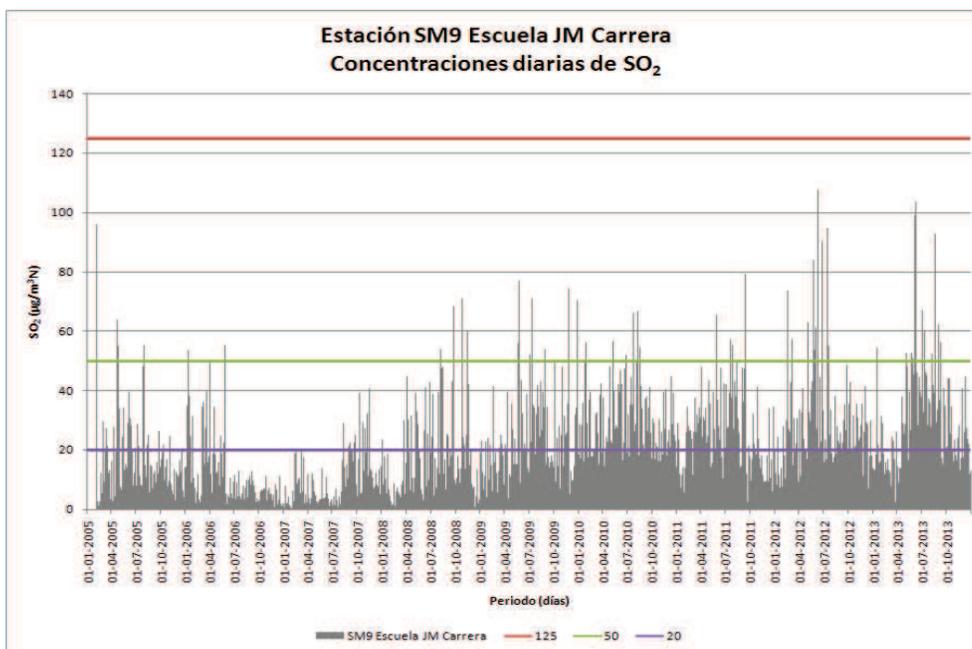
**Figura 174. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco**

En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Compañía de Bomberos entre los años 2005 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Se puede apreciar que las concentraciones están muy por debajo de la normativa de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .



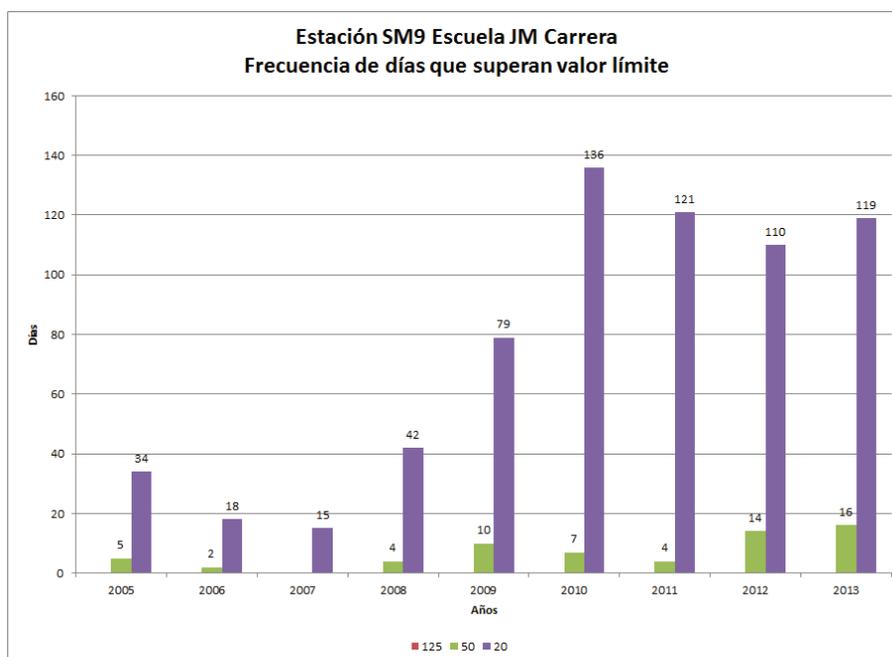
**Figura 175. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco**

En la Figura 175 se puede apreciar que en los últimos 3 años existe una tendencia al aumento en el número de superaciones de la norma de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , sin embargo, muy por debajo de lo observado entre los años 2007 y 2009.



**Figura 176. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación SM9 Escuela J.M. Carrera, Huasco**

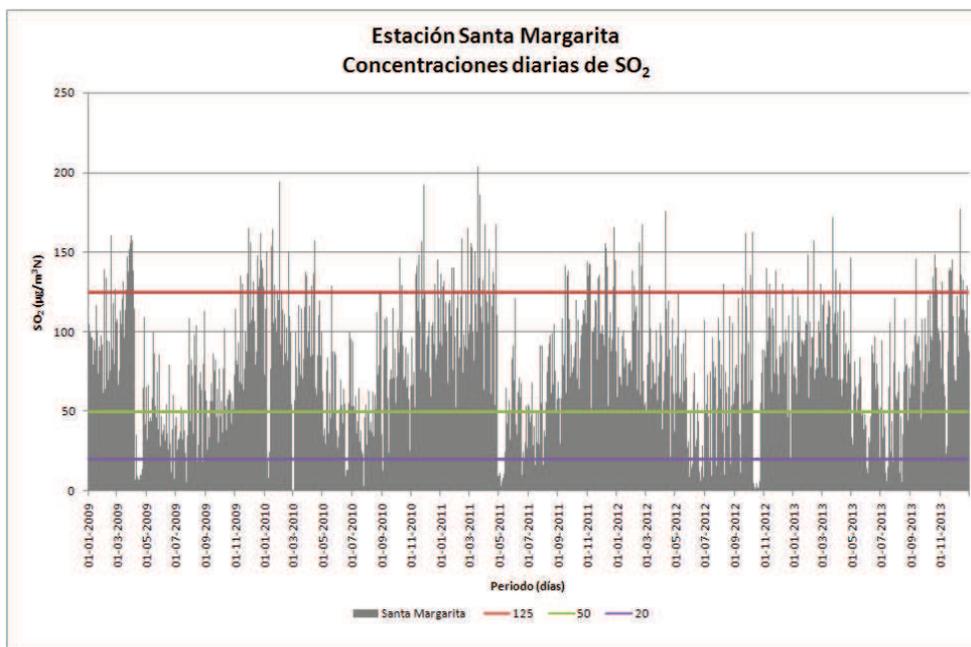
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Escuela José Miguel Carrera entre los años 2005 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Se puede apreciar que las concentraciones están muy por debajo de la normativa de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 177. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación SM9 Escuela J. M. Carrera, Huasco**

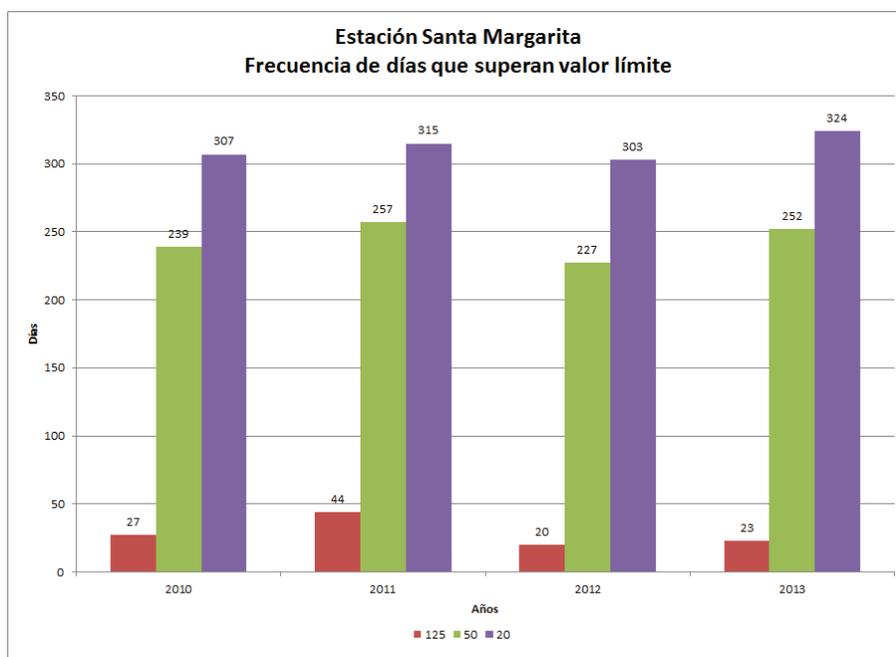
En la estación Escuela J. M. Carrera se observa una tendencia al aumento brusca a las superaciones de la norma de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  entre los años 2007 y 2010, desde entonces se mantuvo prácticamente constante. La normativa de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  se supera aisladamente, y la normativa propuesta a  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  no fue superada en esta estación.

vii) Catemu – Llay Llay



**Figura 178. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay**

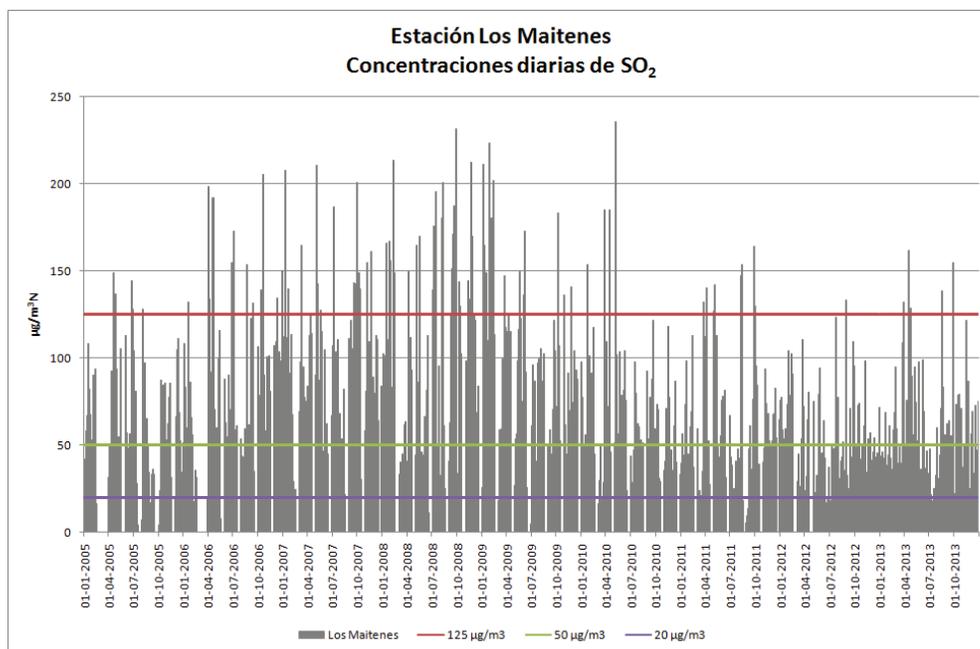
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación Santa Margarita entre los años 2009 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal.



**Figura 179. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay**

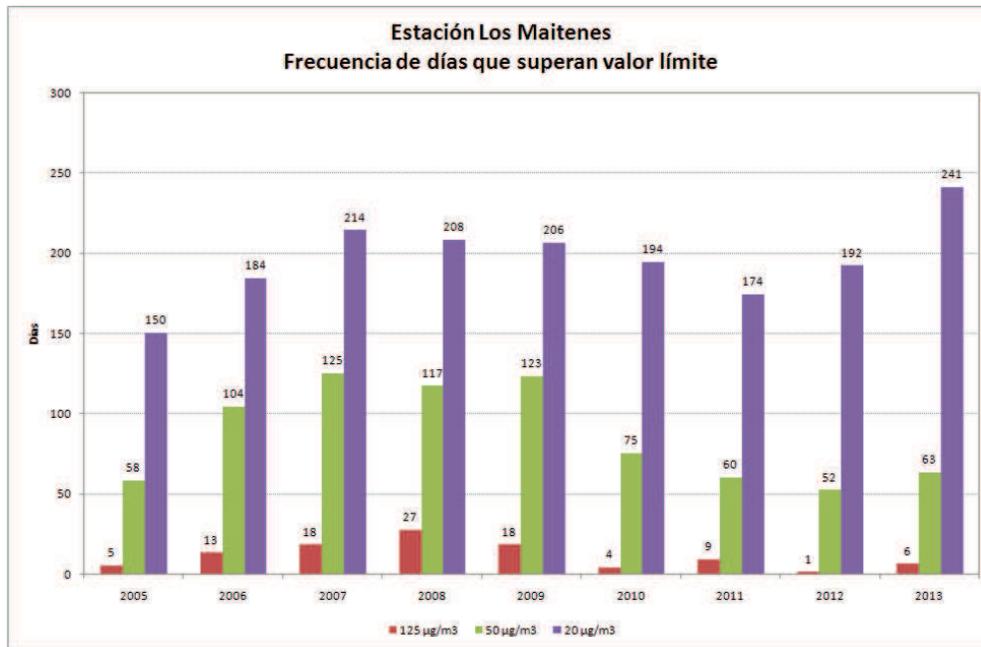
En la Figura 179 se puede apreciar que el número de superaciones diarias de los 3 escenarios regulatorios propuestos se ha mantenido constante durante el tiempo de estudio en la estación Santa Margarita.

**viii) Quintero – Puchuncaví (Los Maitenes y GNL Quintero)**



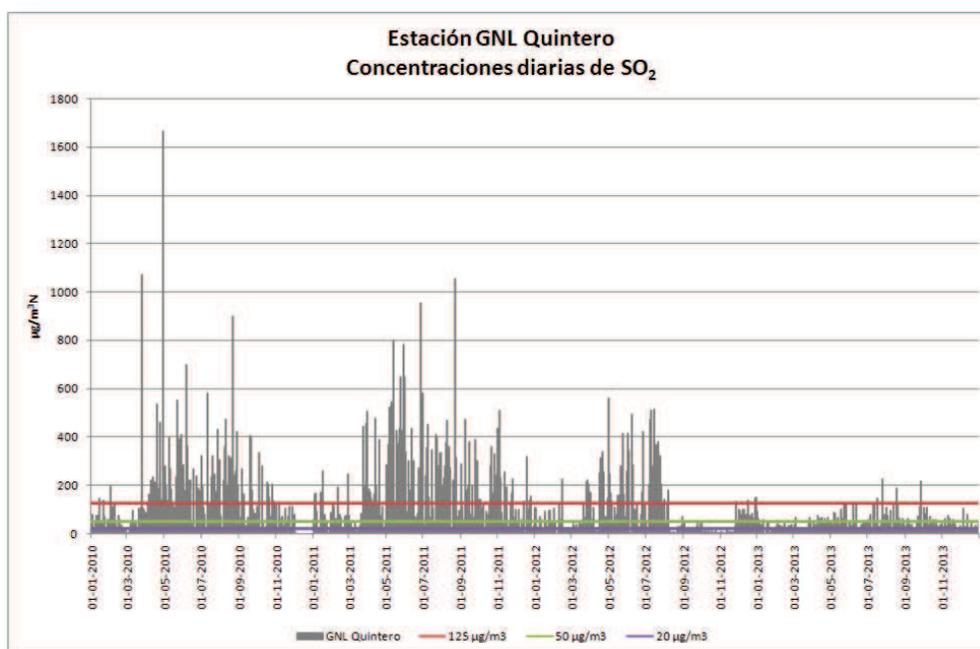
**Figura 180. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Los Maitenes, Quintero - Puchuncaví**

En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en la estación Los Maitenes entre los años 2005 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Los 3 escenarios propuestos son superados a lo largo del tiempo.



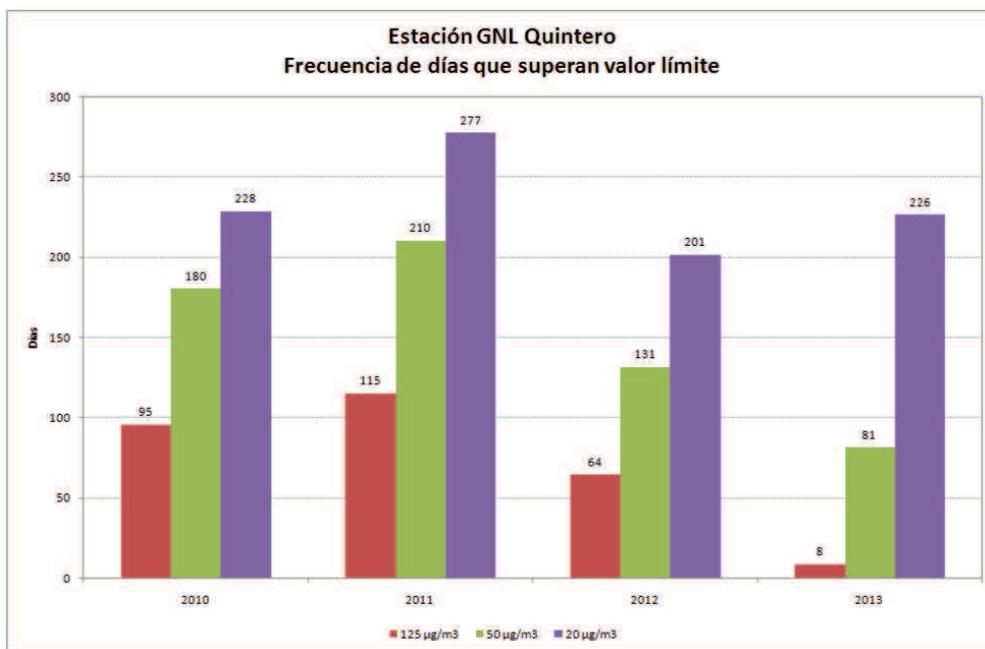
**Figura 181. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Los Maitenes, Quintero - Puchuncaví**

En la Figura 181 se puede observar que desde el año 2010 el número de superaciones del escenario  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ha disminuido, no obstante, el número de superaciones del escenario  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  ha aumentado.



**Figura 182. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación GNL Quintero, Quintero - Puchuncaví**

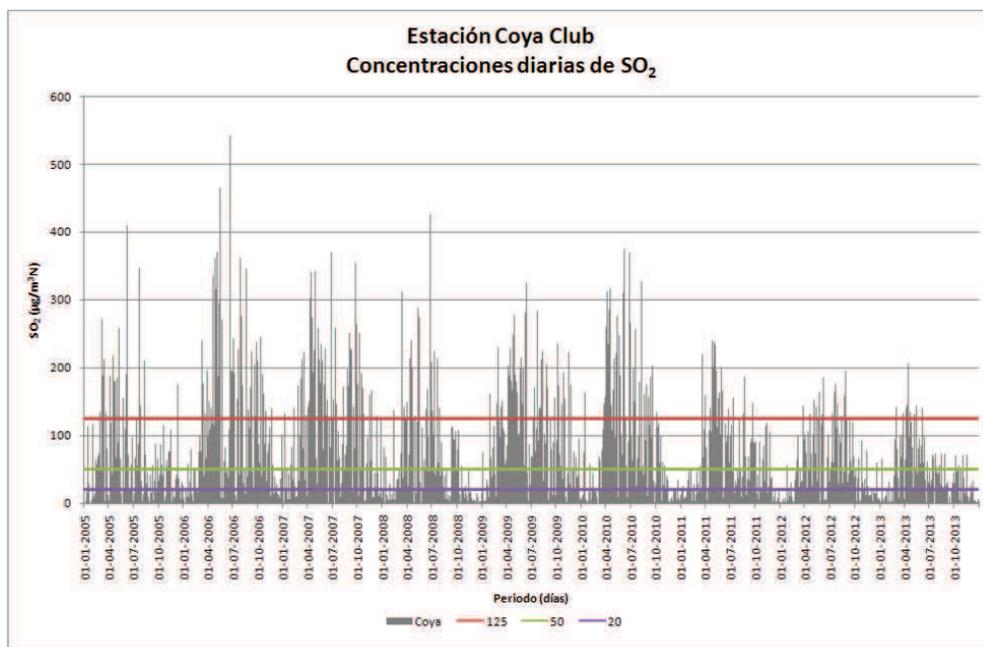
En la figura anterior se muestran las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en la estación GNL Quintero entre los años 2010 y 2013, y una comparación con los escenarios regulatorios propuestos para dicha resolución temporal. Se observan superaciones de los tres escenarios durante todos los años aunque con concentraciones máximas significativamente menores en el año 2013.



**Figura 183. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación GNL Quintero, Quintero - Puchuncaví**

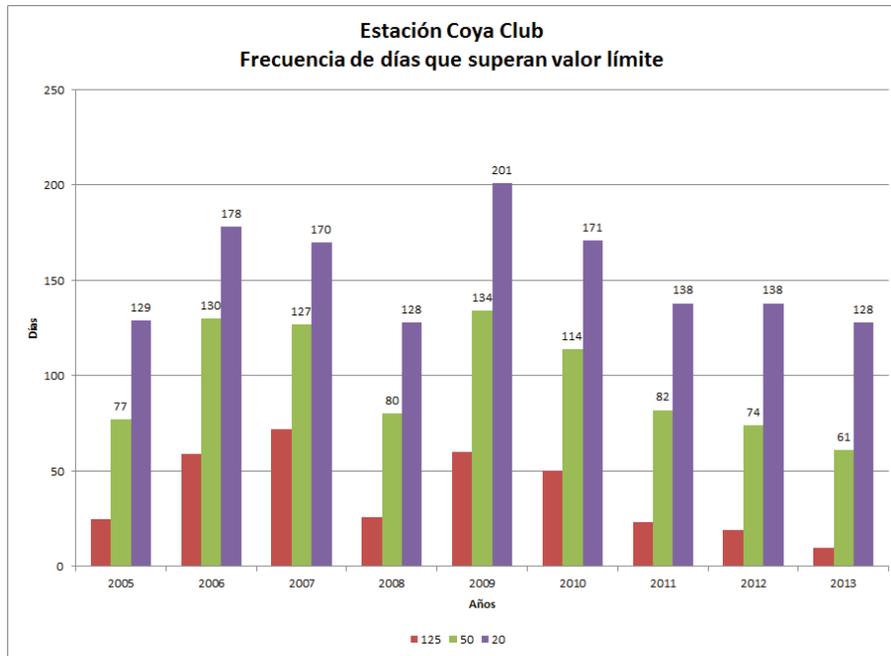
De la figura anterior se desprende que el año 2013 presenta una baja significativa en el escenario de 125 µg/m<sup>3</sup>N. La norma de 50 µg/m<sup>3</sup>N también presente una baja. El escenario más estricto por su parte muestra un alza respecto al 2012.

ix) Machalí – Coya



**Figura 184. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Coya Club, Machalí Coya**

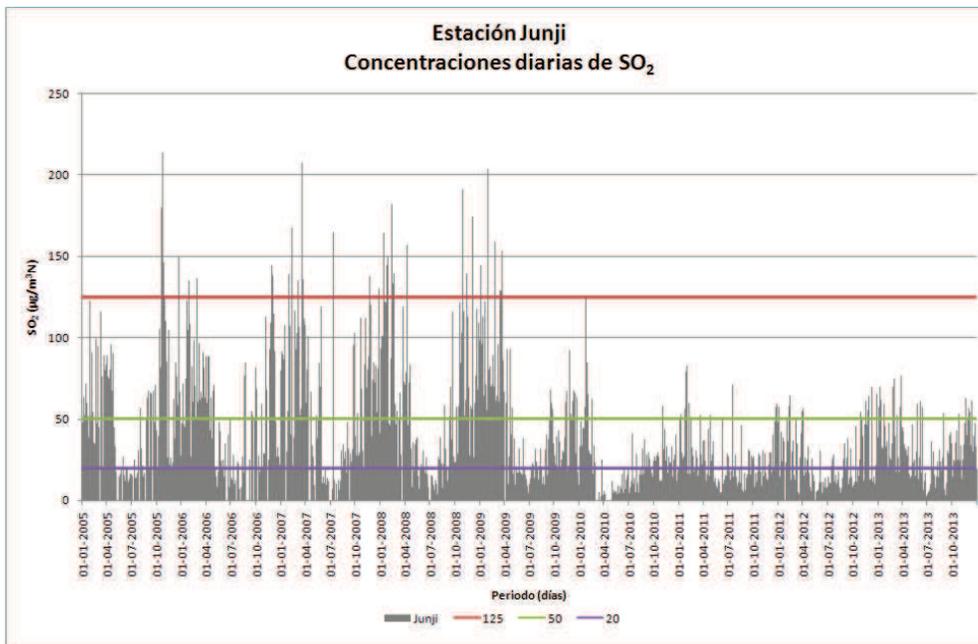
La figura anterior muestra la evaluación de escenarios para norma diaria de la estación Coya Club. Se observan superaciones de los tres escenarios para todos los años considerados en el estudio.



**Figura 185. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación Coya Club, Machalí - Coya**

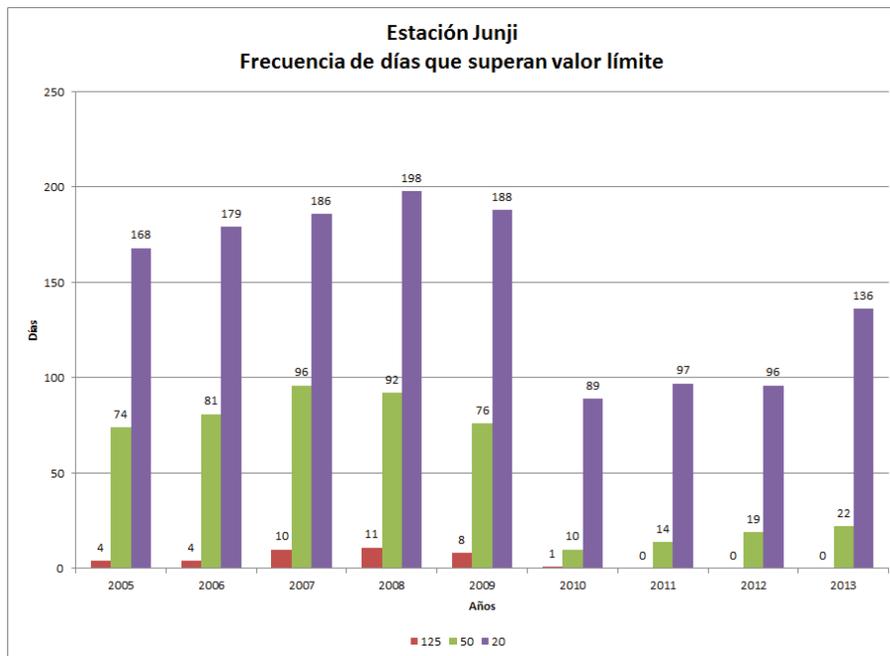
La figura anterior muestra una tendencia al descenso sostenido de los tres escenarios desde el año 2009, esto se aprecia desde el año 2009 hasta el 2013.

**x) Coronel – Lota – Hualpén - Talcahuano**



**Figura 186. Concentraciones diarias y escenarios regulatorios propuestos estación Junji, Hualpén**

La figura anterior muestra que a partir del año 2010 el comportamiento de las concentraciones cambió. Se superan sólo dos de los tres escenarios evaluados. También a partir de ese año se observa un descenso de las concentraciones máximas.



**Figura 187. Superación de valores propuestos para la norma diaria estación junji, Hualpén**

La figura anterior muestra que, si bien es cierto que desde el año 2011 no hay superación para el escenario de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se observa un aumento en los otros escenarios en el mismo periodo.

## Situación de superación de niveles de $\text{SO}_2$ , resolución anual

### i) Tocopilla

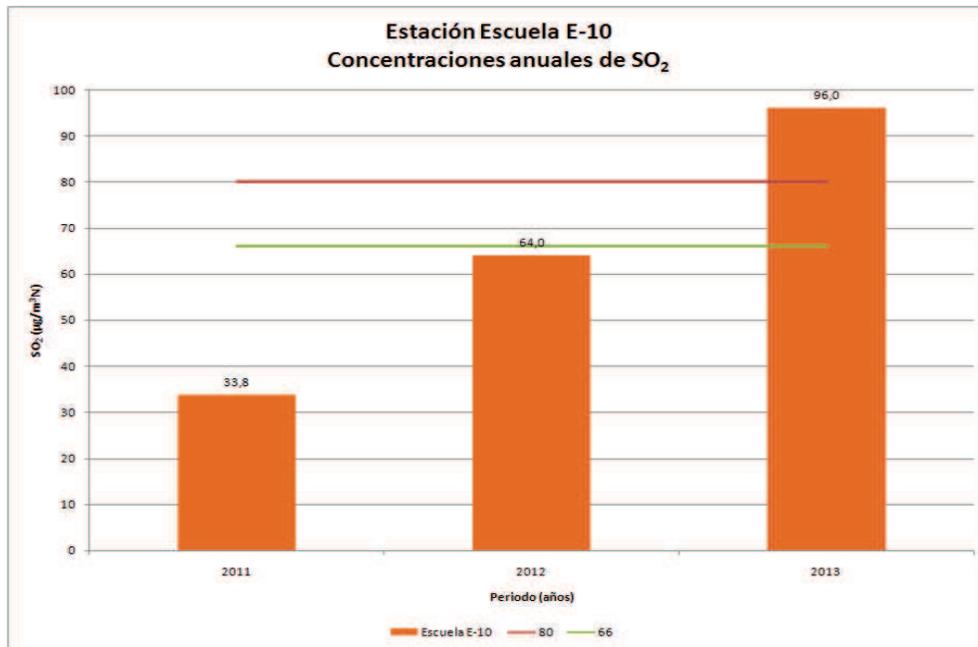
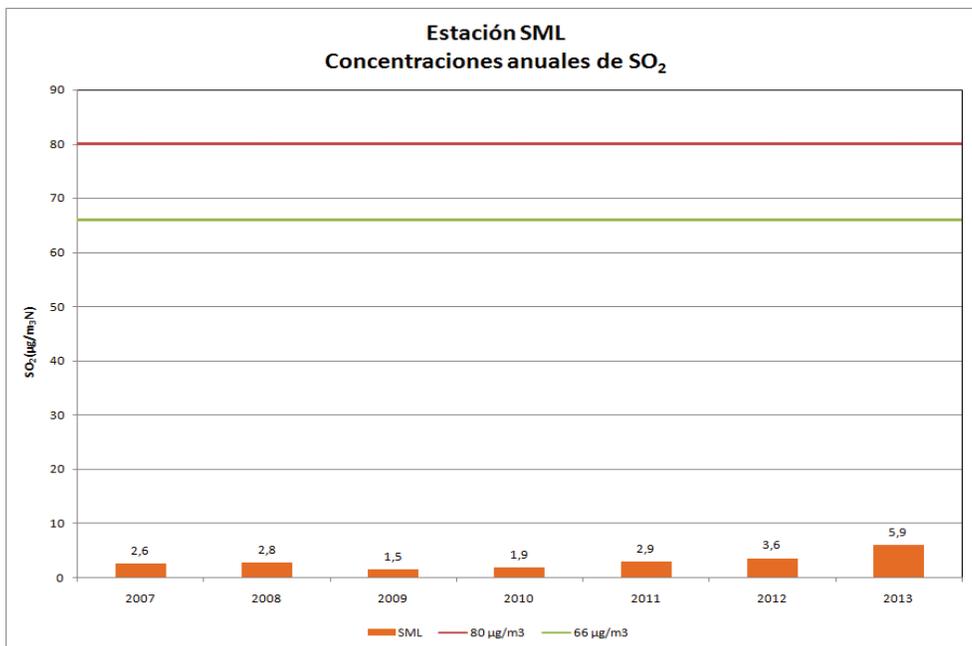


Figura 188. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Escuela E-10, Tocopilla

La figura anterior muestra un aumento desde el año 2011, superando los escenarios propuestos en el año 2013. La tendencia de las concentraciones anuales es al aumento en el periodo estudiado.

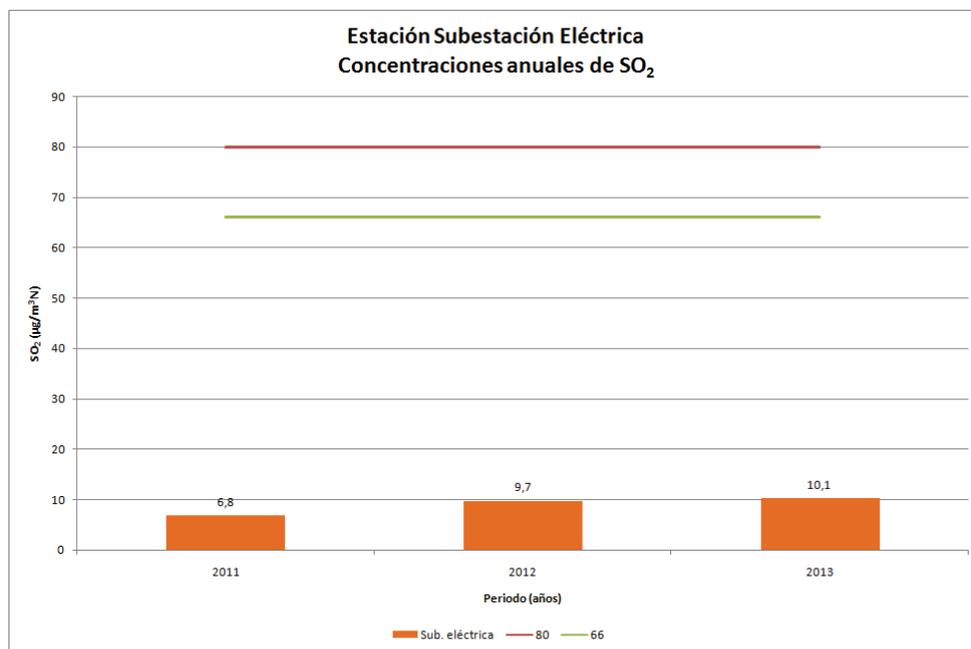
ii) Calama, estación SML



**Figura 189. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación SML, Calama**

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

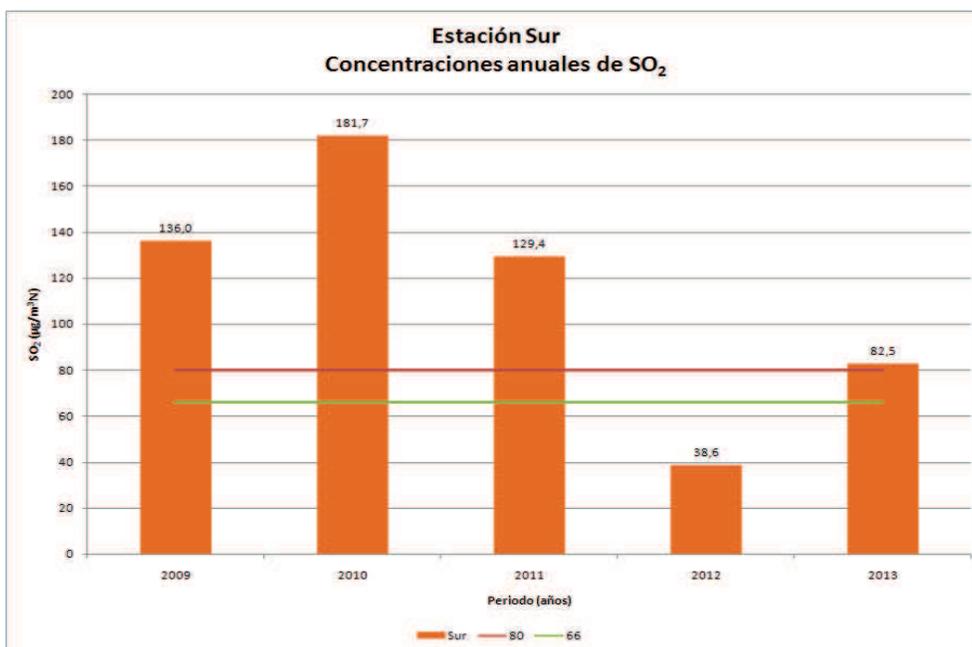
### iii) Mejillones



**Figura 190. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Subestación Eléctrica, Mejillones**

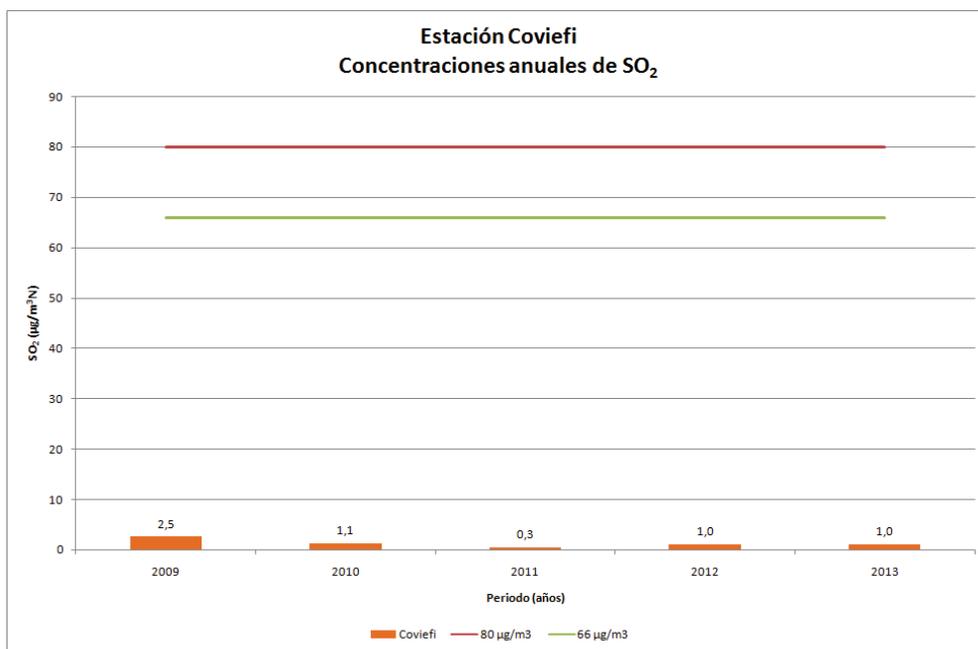
A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

iv) Antofagasta – La Negra (Sur y Coviefi)



**Figura 191. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Sur, La Negra**

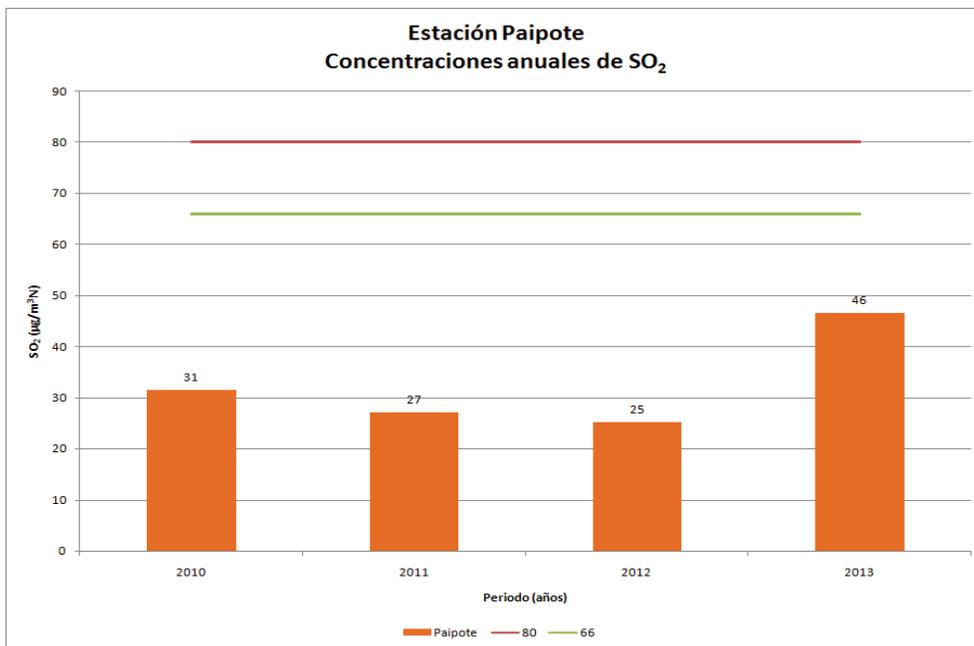
En la figura anterior se observa que sólo el año 2012 el valor del promedio anual se encuentra bajo los escenarios propuestos, para los otros años estudiados, la concentración promedio anual supera los escenarios regulatorios propuestos.



**Figura 192. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Coviefi, Antofagasta**

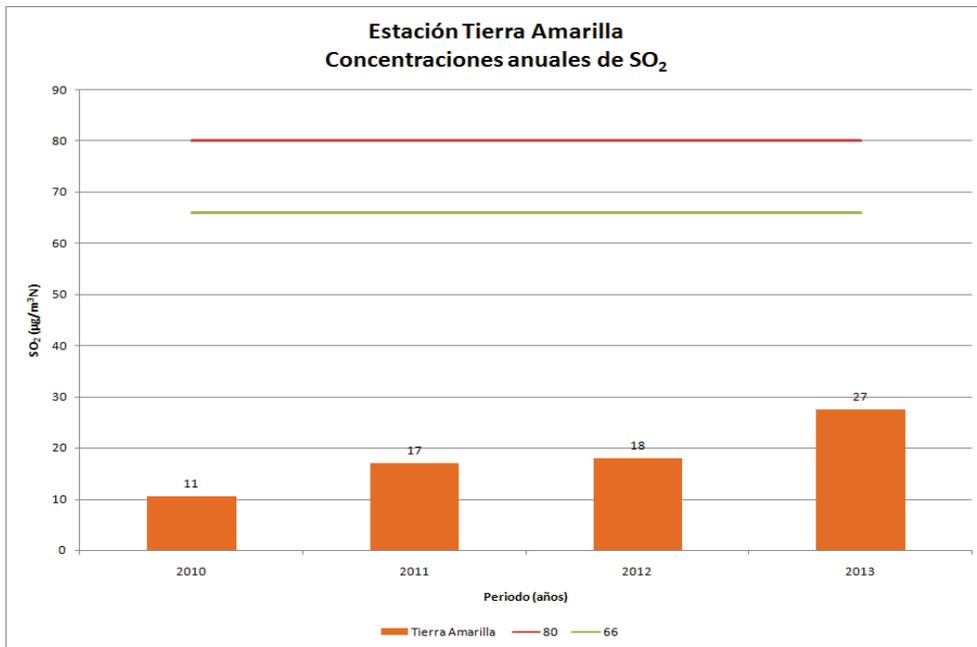
A partir de la figura anterior se desprende que los valores de  $\text{SO}_2$  se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

v) Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla (Paipote y Tierra Amarilla)



**Figura 193. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Paipote, Paipote**

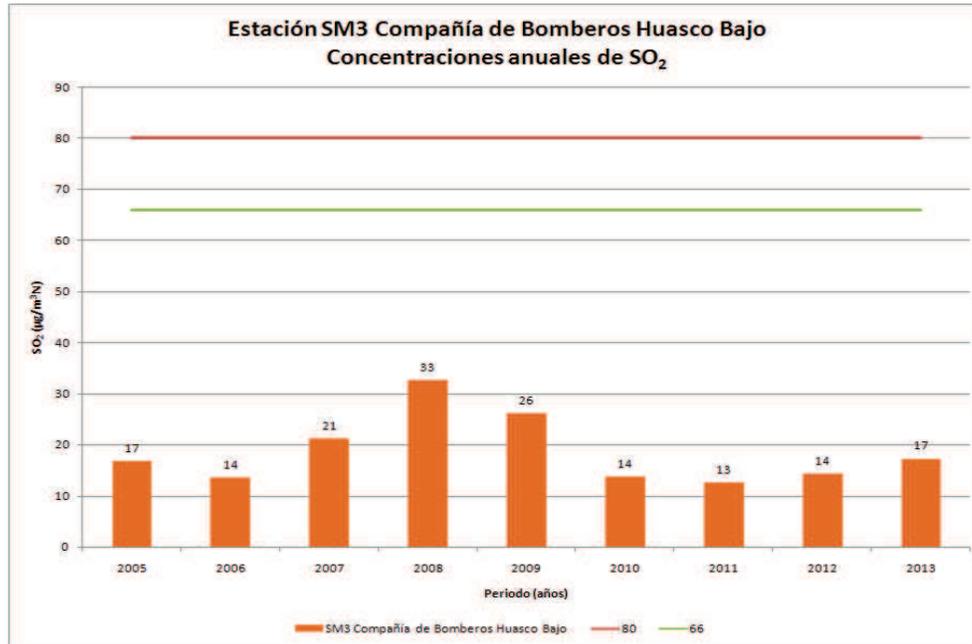
A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.



**Figura 194. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Tierra Amarilla, Tierra Amarilla**

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de  $\text{SO}_2$  se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

vi) Huasco (SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo y SM9 Escuela JM Carrera)



**Figura 195. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo, Huasco**

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

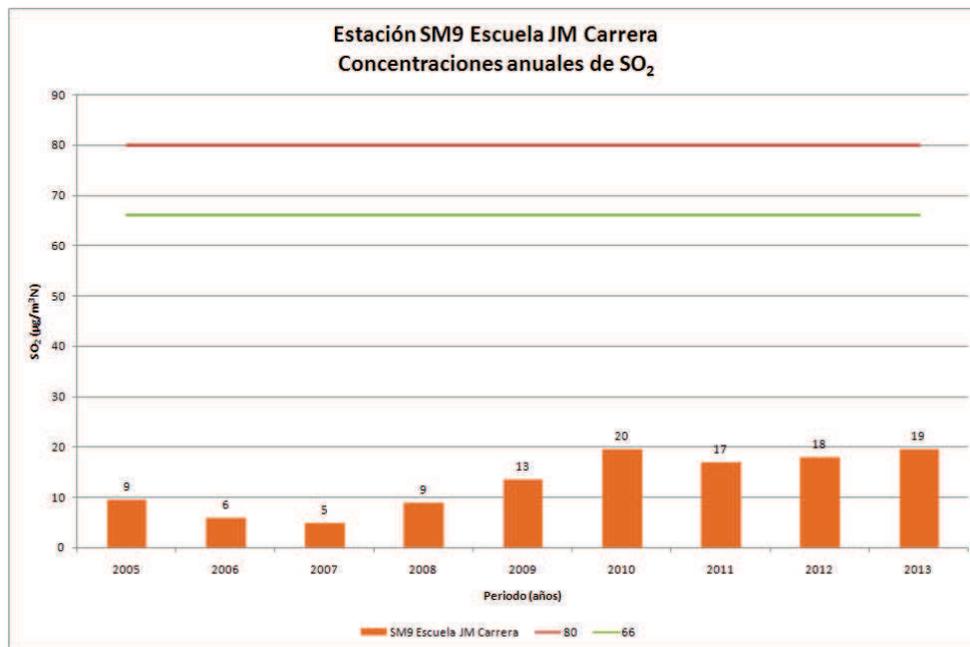


Figura 196. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación SM9 Escuela JM Carrera, Huasco

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran muy por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

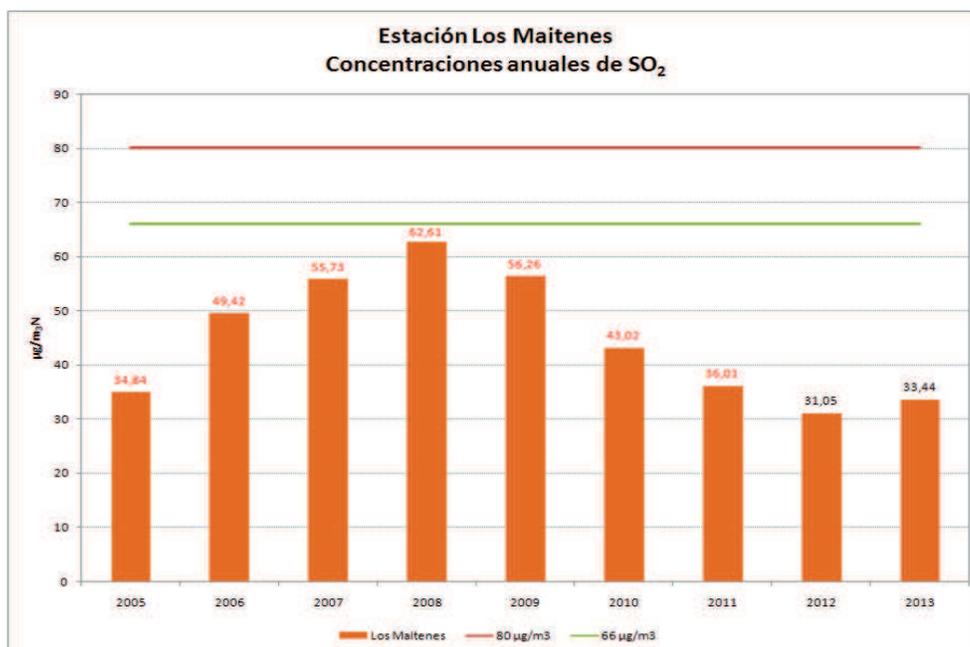
vii) Catemu – Llay Llay



**Figura 197. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Santa Margarita, Catemu – Llay Llay**

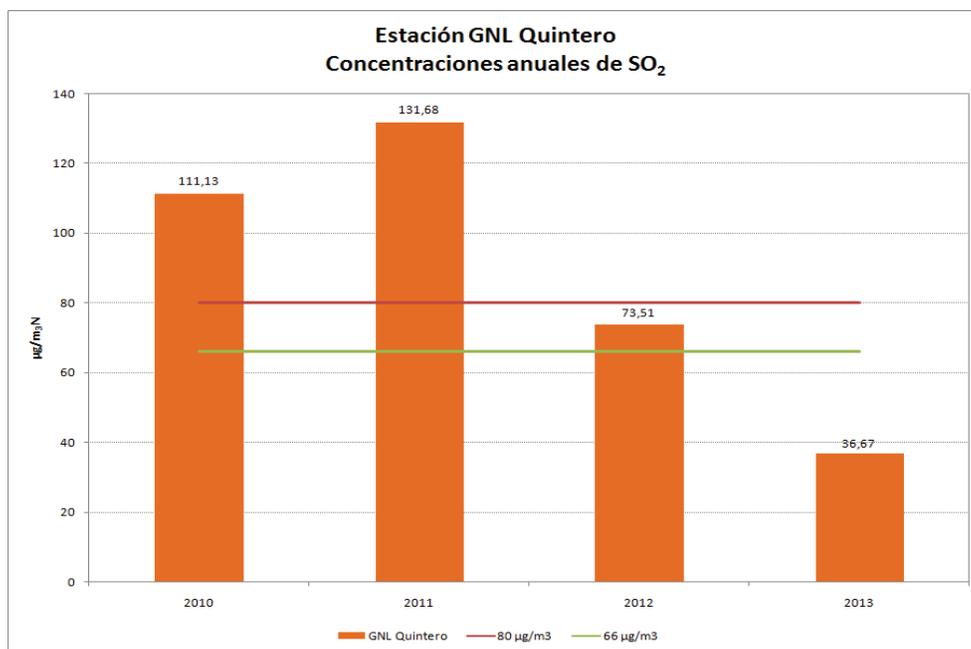
Se observa en la figura anterior que sólo el 2009 y 2012 se encuentran bajo los valores propuestos. Los años 2010, 2011 y 2013 superan los dos escenarios regulatorios propuestos.

viii) Quintero – Puchuncaví (Los Maitenes y GNL Quintero)



**Figura 198. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Los Maitenes, Quintero - Puchuncaví**

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran por debajo de los escenarios de norma anual propuestos. Solo los años 2012 y 2013 cumplen con el requisito del 75% de los datos válidos para el cálculo del promedio, no obstante, los años 2005 a 2011 se muestran igualmente, de modo referencial, a modo de comparación entre las concentraciones y los escenarios regulatorios propuestos.



**Figura 199. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación GNL Quintero, Quintero - Puchuncaví**

En la figura anterior se observa que sólo el 2013 se encuentra bajo los valores propuestos. Los promedios anuales de concentraciones de los años 2010, 2011 y 2012 superan los escenarios regulatorios propuestos.

ix) Machalí – Coya

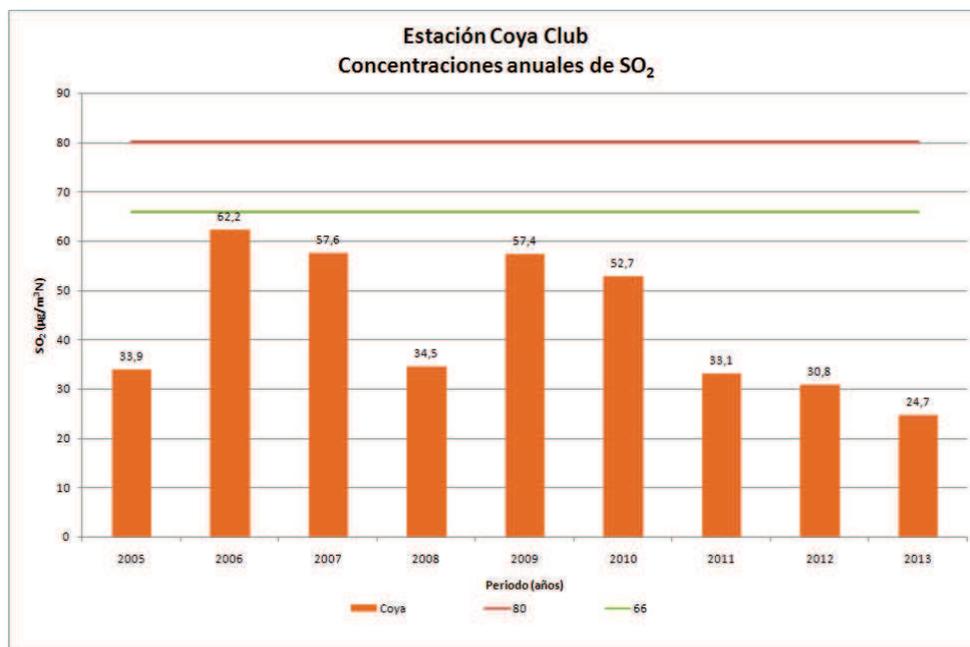
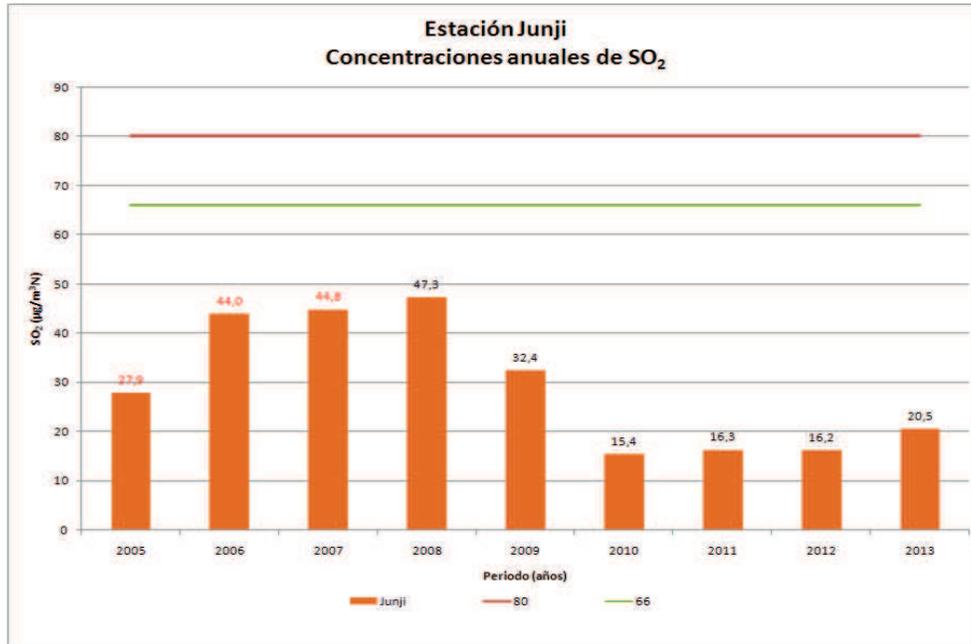


Figura 200. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Coya Club, Machalí - Coya

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

x) Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano



**Figura 201. Concentraciones anuales y escenarios regulatorios propuestos estación Junji, Hualpén**

A partir de la figura anterior se desprende que los valores de SO<sub>2</sub> se encuentran por debajo de los escenarios de norma anual propuestos.

### 5.2.3. Conclusiones

Como conclusiones de la comparación de las concentraciones con los escenarios normativos propuestos se entregan cuatro tablas resumen donde es posible observar la cantidad de superaciones de cada estación considerada en el análisis respecto del escenario evaluado.

La Tabla 56 resume la cantidad de horas que se superan los escenarios normativos propuestos para esta resolución en cada una de las estaciones seleccionadas en las zonas priorizadas. El resultado se entrega en número de horas y en porcentaje de horas en relación con el total de horas válidas entre los años 2011 y 2013.

Se observa que el nivel más estricto ( $197 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) es el nivel que se supera mayormente. En el año 2013 en la estación Escuela E-10 en Tocopilla, se superó en un 15% de las horas. En promedio durante el año 2013 se superó en un 4,2% de las veces a nivel país. En cuanto al escenario intermedio de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se superó en promedio 1,6% de las horas en todas las zonas, y se superó mayormente en la estación Sur de Antofagasta, con un 6,6% de las horas. En cuanto al escenario más permisivo,  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se supera solamente en un 0,8% de las horas, en promedio en todas las zonas en el año 2013, siendo la máxima la estación Sur con un 4,4%.

La Tabla 57 resume la cantidad de días que se superan los escenarios normativos propuestos para esta resolución en cada una de las estaciones seleccionadas en las zonas priorizadas. El resultado se entrega en número de días y en porcentaje de días en relación con el total de días válidos entre los años 2011 y 2013.

Se observa que el nivel más estricto ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) es el nivel que se supera mayormente. En el año 2013 en la estación Escuela E-10 en Tocopilla, se superó en un 94,2% de los días, coincidiendo con el resultado de la resolución horaria. En promedio durante el año 2013 se superó en un 46,2% de los días a nivel país. En cuanto al escenario intermedio de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se superó en promedio en un 23% de los días en todas las zonas, y se superó mayormente en la estación Escuela E-10 de Tocopilla, con un 72,5% de los días. En cuanto al escenario más permisivo,  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , se supera solamente en un 5,2% de los días, en promedio en todas las zonas en el año 2013, siendo la máxima la estación Escuela E-10 con un 27,2%.

La Tabla 58 muestra las concentraciones anuales de  $\text{SO}_2$  para la(s) peor(es) estación(es) por zona en cuanto a sus promedios de concentraciones.

En los promedios anuales es posible distinguir que las estaciones presentan promedios de dos dígitos (decenas) no muestran tanta variación al comparar con los promedios de otros años. Sin embargo, las estaciones que presentan promedios de tres dígitos (centenas) muestran gran variación al comparar con los promedios de otros años.

Las estaciones que son notorias al observar los promedios trianuales de concentraciones de  $\text{SO}_2$  son la estación E-10 (zona Tocopilla), estación Sur (zona Antofagasta – La Negra), estación Santa Margarita (zona Catemu – Llay Llay) y estación GNL Quintero (zona Quintero – Puchuncaví), con valores de 64,6, 83,5, 68,0 y 80,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , respectivamente.

**Tabla 56. Resumen de horas que superan los valores límite propuestos para la norma horaria periodo 2011-2013**

Escenario Norma Horaria														
Zona	Estación	Hora / %	2011				2012				2013			
			197	350	500	n	197	350	500	n	197	350	500	n
Tocopilla	Escuela E-10	Horas	162	35	9	8309	615	200	85	8664	1300	453	179	8647
		%	1.9	0.4	0.1		7.1	2.3	1.0		15.0	5.2	2.1	
Calama	SML	Horas	1	0	0	9230	3	0	0	7915	12	2	2	8400
		%	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0	
Mejillones	Sub. Eléctrica	Horas	5	0	0	8588	17	5	1	8711	10	0	0	8692
		%	0.1	0.0	0.0		0.2	0.1	0.0		0.1	0.0	0.0	
Antofagasta	Sur	Horas	1454	772	520	8760	461	285	195	8783	940	575	381	8756
		%	16.6	8.8	5.9		5.2	3.2	2.2		10.7	6.6	4.4	
	Coviefi	Horas	0	0	0	8753	16	4	3	8783	6	2	0	8566
		%	0.0	0.0	0.0		0.2	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0	
Copiapó	Paipote	Horas	321	142	74	8665	327	154	85	8645	621	365	242	8675
		%	3.7	1.6	0.9		3.8	1.8	1.0		7.2	4.2	2.8	
	Tierra Amarilla	Horas	155	49	18	8690	187	79	36	8714	320	132	60	7980
		%	1.8	0.6	0.2		2.1	0.9	0.4		4.0	1.7	0.8	
Huasco	SM3 Comp. de Bomb. H. Bajo	Horas	28	2	0	8570	45	4	0	8680	48	6	3	8605
		%	0.3	0.0	0.0		0.5	0.0	0.0		0.6	0.1	0.0	
	SM9 E. JJ Carrera	Horas	34	6	0	8620	71	11	2	8670	69	13	3	8602
		%	0.4	0.1	0.0		0.8	0.1	0.0		0.8	0.2	0.0	
Catemu	Santa Margarita	Horas	996	200	34	8520	719	11	23	8548	883	144	20	8574
		%	11.7	2.3	0.4		8.4	0.1	0.3		10.3	1.7	0.2	
Quintero - Puchuncaví	Los Maitenes	Horas	271	88	31	6425	228	58	12	7612	296	92	34	8627
		%	4.2	1.4	0.5		3.0	0.8	0.2		3.4	1.1	0.4	
	GNL	Horas	1203	819	585	8283	761	481	316	8415	284	121	53	8509
		%	14.5	9.9	7.1		9.0	5.7	3.8		3.3	1.4	0.6	
Coya	Coya Club	Horas	446	164	53	8677	395	108	29	8664	259	61	14	8492
		%	5.1	1.9	0.6		4.6	1.2	0.3		3.0	0.7	0.2	
Hualpén	Junji	Horas	10	0	0	8626	6.0	0.0	0.0	8290	24	1	0	8332
		%	0.1	0.0	0.0		0.1	0.0	0.0		0.3	0.0	0.0	

**Tabla 57. Resumen de días que superan los valores límite propuestos para la norma diaria periodo 2011-2013**

Escenario Norma Diaria														
Zona	Estación	Días / %	2011				2012				2013			
			20	50	125	n	20	50	125	n	20	50	125	n
Tocopilla	Escuela E-10	Días %	240 69.8	66 19.2	5 1.5	344	309 84.9	192 52.7	39 10.7	364	343 94.2	264 72.5	99 27.2	364
Calama	SML	Días %	2 0.6	0 0.0	0 0.0	357	3 0.8	0 0.0	0 0.0	363	14 4.0	1 0.3	0 0.0	350
Mejillones	Sub. Eléctrica	Días %	15 4.2	0 0.0	0 0.0	360	30 8.2	5 1.4	0 0.0	366	35 9.6	2 0.5	0 0.0	365
Antofagasta	Sur	Días %	300 82.2	267 73.15	153 41.92	365	195 53.3	103 28.1	21 5.7	366	319 87.4	218 59.7	71 19.5	365
	Coviefi	Días %	0 0.0	0 0.0	0 0.0	364	6 1.6	2 0.5	0 0.0	366	2 0.6	0 0.0	0 0.0	356
Copiapó	Paipote	Días %	136 37.3	54 14.8	15 4.1	365	126 34.4	54 14.8	12 3.3	366	167 45.8	108 29.6	42 11.5	365
	Tierra Amarilla	Días %	109 29.9	19 5.2	1 0.3	365	115 31.4	24 6.6	1 0.3	366	148 43.9	63 18.7	6 1.8	337
Huasco	SM3 Comp. de Bomb. H. Bajo	Días %	55 15.2	2 0.6	0 0.0	361	74.0 20.3	4.0 1.1	0.0 0.0	364	110 30.1	8 2.2	0 0.0	365
	SM9 E. JJ Carrera	Días %	121 33.4	4 1.1	0 0.0	362	110 30.2	14 3.8	0 0.0	364	119 32.7	16 4.4	0 0.0	364
Catemu	Santa Margarita	Días %	315 86.3	257 70.4	44 12.1	365	303.0 83.2	227.0 62.4	20.0 5.5	362	324 89.3	252 69.4	23 6.3	363
Quintero - Puchuncaví	Los Maitenes	Días %	174 64.9	60 22.4	9 3.4	268	192 60.2	52 16.3	1 0.3	319	241 66.9	63 17.5	6 1.7	360
	GNL	Días %	277 80.1	210 60.7	115 33.2	346	201 57.6	131 37.5	64 18.34	349	226 64.6	81 23.1	8 2.3	350
Coya	Coya Club	Días %	138 38.4	82 22.8	23 6.4	359	138 39.5	74 21.2	19 5.4	349	128 37.6	61 17.9	10 2.9	340
Hualpén	Junji	Días %	97 26.8	14 3.9	0 0.0	362	96 28.1	19 5.6	0 0.0	342	136 39.5	22 6.4	0 0.0	344

**Tabla 58. Promedio anuales de concentraciones de SO<sub>2</sub> por zona y estación, periodo 2011-2013.**

Escenario Norma Anual					
Año		2011	2012	2013	Promedio
Zona	Estación	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N	µg/m <sup>3</sup> N
<b>Tocopilla</b>	E-10	33.8	64.0	96.0	<b>64.6</b>
<b>Calama</b>	SML	2.9	3.6	5.9	<b>4.1</b>
<b>Mejillones</b>	Sub. Eléctrica	6.8	9.7	10.1	<b>8.9</b>
<b>Antofagasta – La Negra</b>	Sur	129.4	38.6	82.5	<b>83.5</b>
	Coviefi	0.3	1.0	1.0	<b>0.8</b>
<b>Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla</b>	Paipote	27.1	25.2	46.4	<b>32.9</b>
	Tierra Amarilla	16.9	17.9	27.4	<b>20.7</b>
<b>Huasco</b>	SM3 Comp. Bomberos H. Bajo	12.6	14.4	17.3	<b>14.7</b>
	SM9 Escuela JJ Carrera	16.9	17.9	19.5	<b>18.1</b>
<b>Catemu – Llay Llay</b>	Santa Margarita	73.0	61.7	69.3	<b>68.0</b>
<b>Quintero – Puchuncaví</b>	Los Maitenes	36.0	31.1	33.4	<b>33.5</b>
	GNL Quinteros	131.7	73.5	36.7	<b>80.6</b>
<b>Machalí – Coya</b>	Coya Club	33.1	30.8	24.7	<b>29.5</b>
<b>Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano</b>	Junji	16.3	16.2	20.5	<b>17.7</b>

**Tabla 59. N° de horas que han superado los umbrales de concentración de SO<sub>2</sub> vigentes para normativa chilena. Periodo 2011 – 2013.**

Año		2011				2012				2013			
Zona	Estación	1962	2616	3924	n	1962	2616	3924	n	1962	2616	3924	n
Tocopilla	E-10	0	0	0	8309	0	0	0	8664	0	0	0	8647
Calama	SML	0	0	0	9230	0	0	0	7915	0	0	0	8400
Mejillones	Subestación Eléctrica	0	0	0	8588	0	0	0	8711	0	0	0	8692
Antofagasta – La Negra	Sur	34	14	3	8760	9	1	0	8783	20	4	0	8756
	Coviefi	0	0	0	8753	0	0	0	8783	0	0	0	8566
Copiapó – Paipote – Tierra Amarilla	Paipote	4	2	1	8665	3	2	0	8645	6	2	1	8675
	Tierra Amarilla	1	1	0	8690	0	0	0	8714	1	0	0	7980
Huasco	SM3	0	0	0	8570	0	0	0	8680	0	0	0	8602
	SM9	0	0	0	8620	0	0	0	8670	0	0	0	8602
Catemu – Llay Llay	Santa Margarita	0	0	0	8520	0	0	0	8548	0	0	0	8574
Quintero – Puchuncavi	Los Maitenes	0	0	0	6452	0	0	0	7612	0	0	0	8627
	GNL Quintero	65	31	7	8283	14	7	0	8415	0	0	0	8509
Machalí – Coya	Coya Club	0	0	0	8677	0	0	0	8664	0	0	0	8492
Coronel – Lota – Hualpén – Talcahuano	Junji	0	0	0	8626	0	0	0	8290	0	0	0	8332

En la Tabla 59 muestra la cantidad de horas en las que se superó los umbrales de la normativa que actualmente se aplica en Chile, cuyos niveles de situación de emergencia en concentraciones de una hora son:

- Nivel 1: 1962 – 2615  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
- Nivel 2: 2616 – 3923  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$
- Nivel 3: 3924  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  o superior.

Se destaca la estación Sur de la zona Antofagasta – La Negra al evaluar el año 2011 con 34 superaciones de norma para el nivel 1, 14 superaciones de norma para el nivel 2 y 3 superaciones de norma para el nivel 3. Al evaluar el año 2012 se obtienen 9 superaciones de norma para el nivel 1, 1 superaciones de norma para el nivel 2 y ninguna superación de norma para el nivel 3. Para el año 2013 se obtienen 20

superaciones de norma para el nivel 1, 4 superaciones de norma para el nivel 2 y ninguna superación de norma para el nivel 3.

Se destaca la estación GNL Quintero de la zona Quintero – Puchuncaví al evaluar el año 2011 con 65 superaciones de norma para el nivel 1, 31 superaciones de norma para el nivel 2 y 7 superaciones de norma para el nivel 3. Al evaluar el año 2012 se obtienen 14 superaciones de norma para el nivel 1, 7 superaciones de norma para el nivel 2 y ninguna superación de norma para el nivel 3. Para el año 2013 no se obtienen superaciones de norma.

## 5.3. Evaluación de los riesgos a la salud por la exposición al SO<sub>2</sub>

### 5.3.1. Resumen

La aplicación de los valores AEGL en una evaluación del riesgo a la salud que presenta la población producto de la exposición aguda a concentraciones de SO<sub>2</sub> se explica en esta sección.

Se realizó la comparación de los niveles de SO<sub>2</sub> medidos en cada una de las estaciones de monitoreo priorizadas empleando los AEGLs como nivel de referencia.

**Tabla 60: Número de veces en que el SO<sub>2</sub> excedió un respectivo AEGL**

Localidad		Año de Monitoreo	Frecuencia temporal	[SO <sub>2</sub> ] que excede el Nivel de Referencia		
Zona	Estación			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
Tocopilla	Escuela E10	2011	1 h	7	0	0
		2012		72	0	0
		2013		162	0	0
Calama	Estación SML	2007	10 min	0	0	0
		2008		4	0	0
		2009		6	0	0
		2010		13	0	0
		2011		2	0	0
		2012		0	0	0
Mejillones	Sub Estación Eléctrica	2011	1 hora	0	0	0
		2012		1	0	0
		2013		0	0	0
Antofagasta	Estación Sur	2009	10 min	3568	585	0
		2010		3750	1031	0
		2011		2822	352	0
		2012		1188	126	0
		2013		2199	225	0
Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla	Paipote	2010	10 min	562	57	0
		2011		463	32	0
		2012		533	32	0
		2013		1355	89	0
Copiapó-	Tierra Amarilla	2010	10 min	84	1	0

Localidad		Año de Monitoreo	Frecuencia temporal	[SO <sub>2</sub> ] que excede el Nivel de Referencia		
Zona	Estación			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
Paipote-Tierra Amarilla		2011		142	9	0
		2012		233	3	0
		2013		370	9	0
Huasco	SM3 Segunda Compañía de Bomberos	2005	1 hora	0	0	0
		2006		0	0	0
		2007		1	0	0
		2008		0	0	0
		2009		0	0	0
		2010		0	0	0
		2011		0	0	0
		2012		0	0	0
Huasco	SM9 Escuela JM Carrera	2005	1 hora	1	0	0
		2006		0	0	0
		2007		0	0	0
		2008		1	0	0
		2009		6	0	0
		2010		2	0	0
		2011		0	0	0
		2012		2	0	0
		2013		2	0	0
Catemu-Llay Llay	Santa Margarita	2009	10 min	208	0	0
		2010		326	2	0
		2011		388	3	0
		2012		222	2	0
		2013		242	0	0
Quintero-Puchuncaví	Los Maitenes	2005	10 min	284	3	0
		2006		570	10	0
		2007		756	17	0
		2008		857	21	0
		2009		692	5	0
		2010		346	21	0
		2011		279	2	0

Localidad		Año de Monitoreo	Frecuencia temporal	[SO <sub>2</sub> ] que excede el Nivel de Referencia		
Zona	Estación			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
		2012		156	21	0
		2013		266	1	0
Quinteros-Puchuncaví	GNL Quintero	2010	10 min	62	2	0
		2011		176	50	0
		2012		281	12	0
		2013		325	16	0
Coya-Machalí	Coya Club	2005	10 min	652	2	0
		2006		1480	4	0
		2007		1418	0	0
		2008		641	0	0
		2009		1052	0	0
		2010		1052	0	0
		2011		310	0	0
		2012		175	0	0
Coronel-Lota-Huelpén	Junji	2005	1 hora	6	0	0
		2006		0	0	0
		2007		6	0	0
		2008		5	0	0
		2009		4	0	0
		2010		1	0	0
		2011		0	0	0
		2012		0	0	0
		2013		0	0	0

Es fundamental disponer de las concentraciones del contaminante en el aire en acotadas medidas temporales debido a las características toxicológicas del SO<sub>2</sub> (efectos agudos) y no aplica determinar una única concentración promedio representativa como en el caso de efectos crónicos.

No se identificó un procedimiento para el cálculo de la dosis de exposición aguda de SO<sub>2</sub> por inhalación. Se compara la concentración aérea de SO<sub>2</sub> con los Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs).

La influencia de niveles AEGL-1 descrito como la concentración que provoca molestia en la población y efectos pasajeros; o sea, perceptibles, fueron detectados en el 58% de los escenarios estudiados durante el último año.

Se detectaron niveles superiores al AEGL-2 en 5 escenarios analizados durante el año 2013, valor considerado discapacitante para la población general, incluyendo receptores susceptibles tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades.

No fueron detectados eventos de superación del AEGL-3.

### **5.3.2. Generalidades**

El análisis de riesgo permite generar información requerida para la toma de decisiones relacionadas con la prevención, disminución, o control del riesgo que presentan los niveles de SO<sub>2</sub> en el aire a nivel país. En primer lugar, la estimación del riesgo permite obtener una perspectiva acerca de las diferentes fuentes y naturaleza de riesgo, y tener evidencia acerca de las contribuciones de las fuentes, los contaminantes, y las vías de exposición, respecto del índice de peligrosidad total. En segundo lugar la estimación de riesgo permite identificar los riesgos máximos para una variedad de receptores humanos sujetos a diversos escenarios de exposición. En tercer lugar el análisis de riesgo provee las bases de un marco sistemático usado para definir los recursos óptimos para evitar o controlar los riesgos, en particular de riesgos futuros.

La evaluación de los riesgos en la salud es un proceso científico que se usa para estimar la probabilidad de que se manifiesten efectos en la salud de las personas como consecuencia de una exposición a sustancias químicas peligrosas.

### **5.3.3. Metodología**

La implementación de una metodología de evaluación de riesgo considera la evaluación de tres factores: el grado de contaminación del ambiente, la exposición presente y/o futura de la población afectada y los posibles efectos biológicos en la población y los ecosistemas presentes.

### **5.3.4. Caracterización de la exposición**

#### **Punto de contacto o punto de exposición entre contaminante y receptor**

Para que exista exposición, debe concurrir simultáneamente el contaminante en una concentración que pueda ser cuantificable, en una matriz ambiental identificable y un receptor humano. Además debe haber una probabilidad cierta de ocurrencia temporal y espacial del contacto físico entre el contaminante y el receptor humano, es decir el punto de contacto entre un contaminante y el receptor humano debe ser plausible y medible.

Es en este punto donde ocurre la exposición en función de la duración, magnitud, y absorción del contaminante. El punto de contacto, entonces, es el lugar (real o

hipotético) donde ocurre (o puede ocurrir) el contacto de un contaminante, típicamente presente en una matriz ambiental (aire, agua, suelo) con el organismo, por una ruta de exposición (oral, dérmica, respiración).

Para identificar estos puntos de contacto se deben considerar todos los aportes desde los antecedentes, acorde a la descripción del fenómeno ambiental en estudio. Esto es, considerar los patrones meteorológicos y su aporte a la dispersión de contaminantes para seleccionar las zonas donde con mayor probabilidad se desplacen los mismos según la circulación de las masas de aire.

Para este estudio, se ha identificado como punto donde existe mayor probabilidad de que los contaminantes tengan contacto con receptores humanos genéricos los siguientes:

**Tabla 61: Puntos de contacto identificados para receptores genéricos**

Ruta de exposición	Punto de contacto	Ejemplos de punto de contacto
Inhalación	Cualquier lugar donde los receptores respiran y durante ese proceso, inhalan SO <sub>2</sub> , que van a los pulmones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aire interior habitación residencial.</li> <li>➤ Aire de la sala de clases</li> <li>➤ Aire exterior a una vivienda</li> <li>➤ Aire en un campo deportivo</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### Ubicación de las estaciones de monitoreo

Para el presente estudio se dispone de los datos provenientes de 53 estaciones de monitoreo ubicadas en 10 zonas a lo largo del país (Tabla 62).

### Concentración representativa de SO<sub>2</sub>

Debido a las características toxicológicas del SO<sub>2</sub> (efectos agudos) es fundamental disponer de las concentraciones del contaminante en el aire para cada punto de exposición en acotadas medidas temporales y no aplica determinar una única concentración promedio representativa como en el caso de efectos crónicos. Es por ello que para cada una de las estaciones seleccionadas se evaluarán las concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> en registradas en ellas, cuando sea posible en periodos de 10 minutos.

Del total de estaciones disponible se priorizaron aquellas que presentaron las mayores concentración de SO<sub>2</sub> en cada sector (percentil 99) considerando el promedio de los últimos 3 años monitoreados en cada caso (destacadas en la Tabla 62).

**Tabla 62. Concentración de SO<sub>2</sub> en Estaciones de Monitoreo**

Zona	Estación	Percentil 99 SO <sub>2</sub> promedio horario	
		Promedio Total	3 últimos años
TOCOPILLA	<b>Escuela - E10</b>	<b>457.1</b>	<b>457.1</b>
	Gobernación	68.4	67.8
CALAMA	Hospital	45.3	46.6
	<b>SML</b>	<b>40.4</b>	<b>53.8</b>
MEJILLONES	Ferrocarril	45.7	45.7
	JJ Latorre	72.2	72.2
	<b>Sub Electrica</b>	<b>90.4</b>	<b>90.4</b>
ANTOFAGASTA - LA NEGRA	Coviefi	22.0	12.0
	Norte	139.6	185.8
	<b>Sur</b>	<b>1745.9</b>	<b>1156.6</b>
COPIAPÓ - PAIPOTE - TIERRA AMARILLA	Copiapó	98.0	111.0
	Los Volcanes	170.6	202.7
	Pabellón	85.3	95.8
	<b>Paipote</b>	<b>585.1</b>	<b>606.6</b>
	San Fernando	84.3	96.5
	<b>Tierra Amarilla</b>	<b>307.8</b>	<b>348.5</b>
HUASCO	SM1 Vertedero	128.8	130.2
	SM2 Quinta La Rosa	121.5	71.7
	<b>SM3 Cia Bomberos Huasco Bajo</b>	<b>164.4</b>	<b>151.5</b>
	SM4 Carretera Km 40	142.1	140.8
	SM5 Parcela 5	134.7	125.9
	SM6 Parcela B. Esperanza	124.0	122.2
	SM7 Los Loros	149.9	121.3
	SM8 Freirina	91.9	107.8
	<b>SM9 Escuela JMC</b>	<b>147.3</b>	<b>168.5</b>
	SM10 Cuerpo Bomberos	142.9	157.8
CATEMU - LLAY LLAY	Catemu	97.3	94.9
	Lo Campo	229.0	238.3
	<b>Santa Margarita</b>	<b>394.5</b>	<b>397.9</b>
	Romeral	117.5	119.0
QUINTERO - PUCHUNCAVÍ	La Greda	252.3	192.8
	<b>Los Maitenes</b>	<b>488.8</b>	<b>357.0</b>
	Puchuncaví	180.8	135.0
	Quintero	260.8	347.0
	Sur	348.7	246.0

Zona	Estación	Percentil 99 SO <sub>2</sub> promedio horario	
		Promedio Total	3 últimos años
	Valle Alegre	176.2	192.3
	Ventanas	234.5	234.5
	<b>GNL Quintero</b>	<b>1162.8</b>	<b>1058.6</b>
MACHALÍ - COYA	<b>Coya Club</b>	<b>565.2</b>	<b>378.2</b>
	Coya Población	153.9	99.6
	Cauquenes	114.8	81.8
	Cipreses	95.9	64.7
CORONEL - LOTA - HUALPÉN	<b>Junji</b>	<b>224.6</b>	<b>136.2</b>
	Inpesca	108.6	62.2
	Indura	130.7	65.2
	PRICE	98.9	91.7
	CAP	111.9	80.6
	Coronel Sur	95.4	99.6
	Coronel Norte	166.4	170.2
	Lagunillas	73.3	82.8
	Cerro Merquin	56.3	55.3
	Lota Urbana	84.1	79.9
	Lota Rural	91.3	96.9

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que debido a la extensión geográfica de algunas zonas se emplearon dos estaciones para la evaluación. Para mayor detalle ver Capítulo 2 Análisis de Antecedentes de Calidad del Aire en Chile Asociado al Dióxido de Azufre.

### 5.3.5. Escenarios de Exposición y Receptores Seleccionados

Se considera como “escenario de exposición” al área física que comprende el lugar en el cual se emiten los tóxicos al ambiente, se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios contaminantes. De esta definición se entiende que un escenario de exposición debe contener la definición de un lugar o espacio físico concreto donde puedan coexistir unos receptores con una fuente de contaminantes conectados mediante una vía de exposición. Para esto se seleccionan los receptores genéricos de interés según los usos actuales, pasados o futuros del área de estudios.

Los receptores genéricos de interés son aquellos que presentan mayor susceptibilidad, mayor exposición o que presentan alguna característica que los hace vulnerables a la exposición de los contaminantes estudiados. Para el presente estudio se consideran como receptores al público general público en general, incluyendo a individuos susceptibles o sensibles, pero no a individuos hipersusceptibles o hipersensibles.

Los escenarios (localidades) seleccionados son:

**Tabla 63: Escenarios de Exposición**

Localidad	Zona de exposición	Receptor genérico	Duración de la exposición	Condiciones de la exposición
1	Tocopilla (Estación Escuela E10)	Público general residente	10 minutos (*)	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
2	Calama (Estación SML)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
3	Mejillones (Estación Sub Eléctrica)	Público general residente	10 minutos (*)	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
4	Antofagasta (Estación Sur)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
5	Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Paipote)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
6	Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Tierra Amarilla)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
7	Huasco (Estación Cia Bomberos)	Público general residente	10 minutos (*)	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
8	Huasco (Estación Escuela JMC)	Público general residente	10 minutos (*)	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
9	Catemu-Llay Llay (Estación Santa Margarita)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos

Localidad	Zona de exposición	Receptor genérico	Duración de la exposición	Condiciones de la exposición
10	Quintero-Puchuncaví (Estación Los Maitenes)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
11	Quinteros-Puchuncaví (Estación GNL Quintero)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
12	Coya-Machalí (Estación Coya Club)	Público general residente	10 minutos	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos
13	Coronel-Lota-Huelpén (Junji)	Público general residente	10 minutos (*)	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos

(\*) La concentración de SO<sub>2</sub> se encuentra dada en una resolución temporal de promedios de 1 hora.

### 5.3.6. Niveles de referencia para el SO<sub>2</sub>

Los métodos usados para estudiar la dosis-respuesta de exposiciones agudas son en general similares a la metodología para exposiciones crónicas, y requieren la identificación de un “efecto crítico”, y determinación de un valor comparable para tal efecto.

La revisión bibliográfica de aproximadamente 1000 publicaciones, evidenció que alrededor de 80 estudios que discuten diversos enfoques para la generación y análisis de datos de concentraciones aéreas y efectos en la salud.

Se identificaron metodologías desarrolladas por organizaciones de prestigio y con diferentes propósitos en relación con exposición de corto plazo, sin considerar niveles ocupacionales.

En el presente estudio se siguió el criterio de comparar los valores medidos con los Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGs, del inglés Acute Exposure Guideline Levels, desarrollados por el National Research Council, USA) como valores más relevantes y aplicables para su uso para los casos de emisiones aéreas de corto plazo aplicables a la población en general.

Esta metodología es relevante, sólida y aplicable para su uso en casos de emisiones aéreas en Chile. Cabe señalar que la metodología AEGL fue aplicada en un estudio elaborado para la Subsecretaría del Medio Ambiente, Marzo 2013 de evaluación de

exposición ambiental a sustancias contaminantes  $\text{SO}_2$ , presentes en el aire, comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

### 5.3.7. Bases científicas para los AEGLs

Los AEGLs (ver 4.2.3) representan valores de exposición umbrales o techo de corto plazo que tienen el propósito de proteger al público en general, incluyendo a individuos susceptibles o sensibles, pero no a individuos hipersusceptibles o hipersensibles y pueden ser aplicados a períodos de exposición de emergencia que pueden ocurrir infrecuentemente en la vida de una persona (NRC, 2010).

Concentraciones en aire por debajo un AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden producir moderado y progresivamente aumento pero no discapacitante olor, sabor, e irritación sensorial o ciertos efectos asintomáticos no sensoriales. Con cada aumento en la concentración aérea, hay un progresivo aumento en la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos descritos para cada AEGL específico. Aunque los valores AEGL representan umbrales para el público en general, incluyendo subpoblaciones susceptibles, tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades, se admite que individuos sujetos a respuestas únicas o idiosincráticas<sup>55</sup> pueden experimentar los efectos descritos a concentraciones por debajo de cada AEGL respectivo.

Los valores de AEGLs son constantes para todos los puntos de tiempo porque la bronco constricción ocurre dentro de los primeros 10 min y aumenta mínimamente o se resuelve después de los 10 minutos de exposición. Un AEGL-3 de 30 ppm ( $78000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )  $\text{SO}_2$  es esencialmente letal a los 10 minutos de exposición en una persona susceptible.

### 5.3.8. Dosis de exposición aguda por inhalación de $\text{SO}_2$

Se entiende por *dosis de exposición por inhalación de gases* a una estimación del ingreso de la sustancia exógena que ocurre por un período de tiempo por la vía respiratoria. En el caso del  $\text{SO}_2$ , este tiempo está definido por la aparición de vasoconstricción bronquial en las vías respiratorias altas, proceso que tiene lugar alrededor de los primeros tres minutos siguientes al comienzo de la exposición al  $\text{SO}_2$ . Típicamente, una exposición por inhalación cubre desde horas a días.

La dosis inhalada es difícil de determinar comparada con otras rutas de exposición. En inhalación, la dosis entregada depende de la concentración de exposición, tamaño de la partícula, y patrón de respiración, entre otros factores.

---

<sup>55</sup> Particular, singular.

En la revisión bibliográfica no identificamos ningún artículo que describiera un procedimiento para el cálculo de la dosis de SO<sub>2</sub> por inhalación. Esto no es sorprendente, ya que:

- La USEPA ha discontinuado la metodología que usaba frecuencia respiratoria, puesto que no hay un criterio de toxicidad para el SO<sub>2</sub> (RfC), esto apoya el cambio de metodología de la USEPA;
- La estimación de una dosis por inhalación cuyo tiempo de exposición duraría 5 a 10 minutos, sería difícil e inexacto;
- La retención del SO<sub>2</sub> en un principio es alta, pero luego comienza a disminuir debido a la broncoconstricción, lo que hace difícil estimar la dosis por inhalación.

En el caso del SO<sub>2</sub> se lleva a cabo por comparación directa de la concentración aérea de SO<sub>2</sub> haciendo uso de los AEGLs. El análisis consiste en determinar las concentraciones (peaks de SO<sub>2</sub>) monitoreadas en cada uno de los escenarios para luego evaluar el número de veces que exceden los AEGL-1 de 200 ppb (520 µg/m<sup>3</sup>), AEGL-2 de 750 ppb (1950 µg/m<sup>3</sup>) y AEGL-3 (78000 µg/m<sup>3</sup>).

Para el SO<sub>2</sub>, la metodología AEGL mide el tiempo de aparición de efectos específicos para una concentración determinada de SO<sub>2</sub> en el aire. La aparición de broncoconstricción define el NOEL<sup>56</sup>.

Igualmente, la frecuencia y duración de la exposición de la población expuesta a SO<sub>2</sub> presentes en las zonas industriales priorizadas están determinadas por los tiempos de aplicación del SO<sub>2</sub>.

En cuanto a los factores humanos de exposición, solamente la frecuencia respiratoria depende del nivel de actividad física (reposo, practicando reposo). Los demás factores (peso corpóreo, ingesta de agua o alimentos, superficie corpórea, etc.) no tienen relación. Los factores de exposición humana para la inhalación no se aplican al concepto AEGL.

---

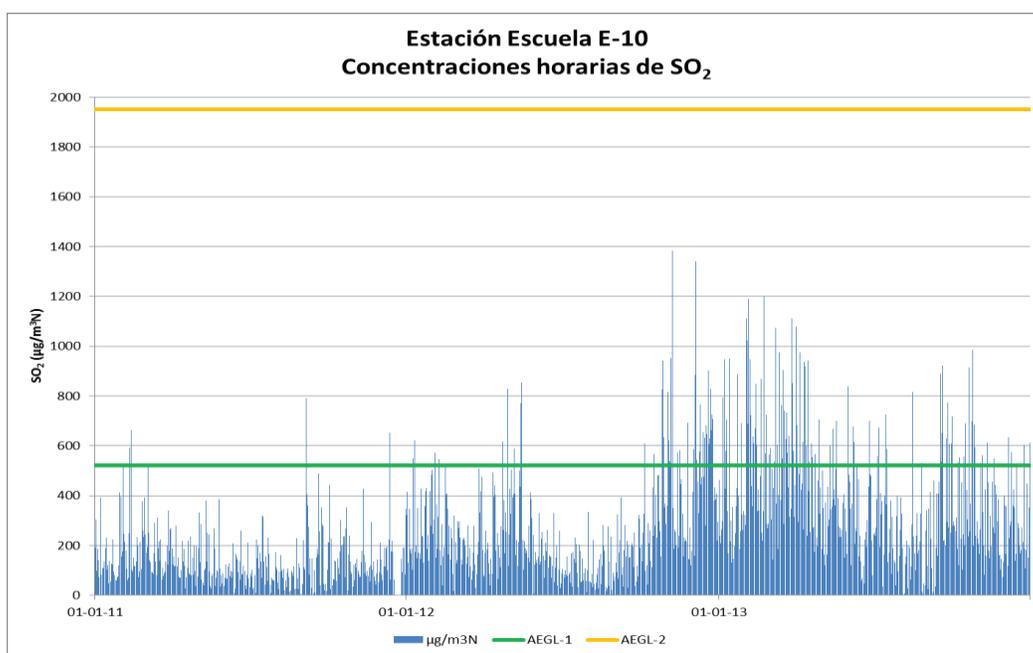
<sup>56</sup> NOEL = No-observed-effect-level, es decir, la relación concentración-tiempo para la cual presencia de SO<sub>2</sub> aéreo no es discapacitante.

### 5.3.9. Evaluación de la exposición breve para el SO<sub>2</sub>

A continuación se presenta la comparación de los niveles de SO<sub>2</sub> medidos en cada una de las estaciones de monitoreo priorizadas empleando los AEGLs como nivel de referencia.

#### Localidad 1: Tocopilla (Estación Escuela E10)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 1 hora de SO<sub>2</sub> excedieron solo el AEGL-1 un total de 241 veces entre los años 2011 y 2013, siendo el último de estos años el con mayor recurrencia, 162 veces (Figura 202 y Tabla 64).



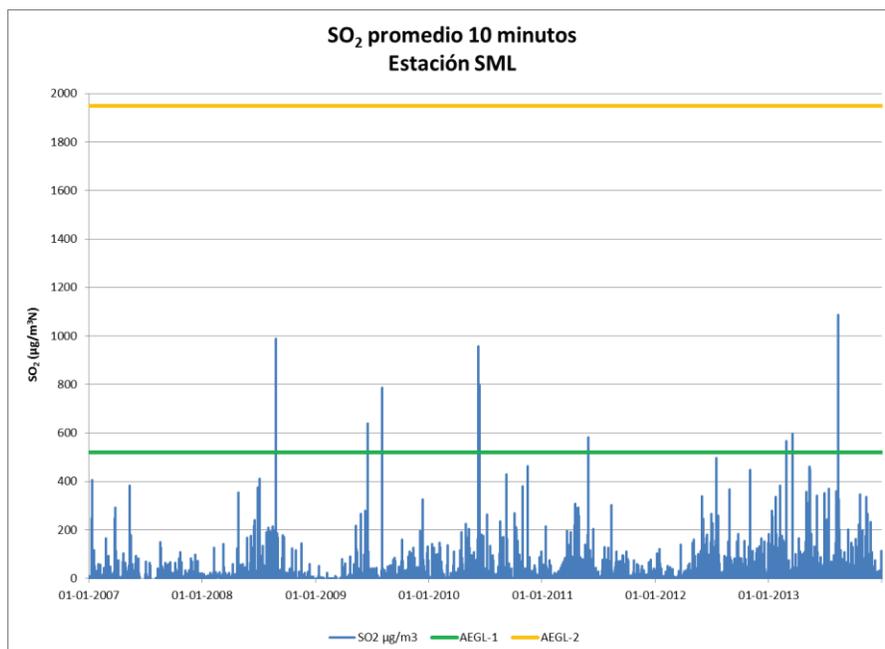
**Figura 202. Mediciones de SO<sub>2</sub> (horas) en la Estación Escuela E10**

**Tabla 64: Análisis de Exposición Aguda Zona 1: Tocopilla (Estación Escuela E10)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2011	8309	1 h	7	0	0
2012	8664	1 h	72	0	0
2013	8647	1 h	162	0	0

### Localidad 2: Calama (Estación SML)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron el AEGL-1 un total de 37 veces entre los años 2007 y 2013 (Figura 203 y Tabla 65).



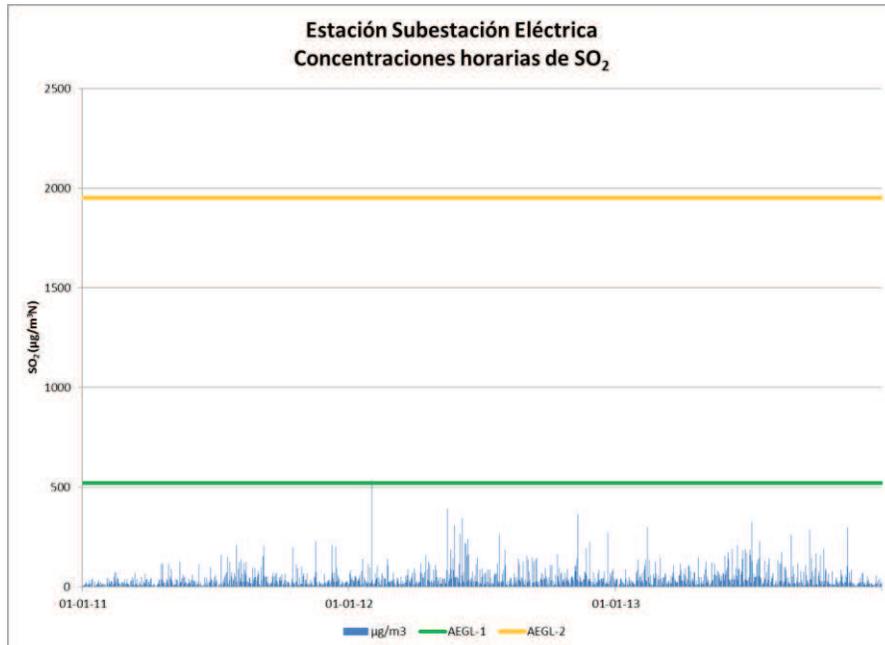
**Figura 203. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación SML**

**Tabla 65: Análisis de Exposición Aguda Zona 2: Calama (Estación SML)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2007	46640	10 min	0	0	0
2008	51320	10 min	4	0	0
2009	50967	10 min	6	0	0
2010	51248	10 min	13	0	0
2011	50943	10 min	2	0	0
2012	51985	10 min	0	0	0
2013	50537	10 min	12	0	0

**Localidad 3: Mejillones (Estación Sub Estación Eléctrica)**

Para esta estación, las concentraciones promedio de 1 hora de SO<sub>2</sub> excedieron solo una vez el AEGL-1 entre los años 2011 y 2013 (Figura 204 y Tabla 66).



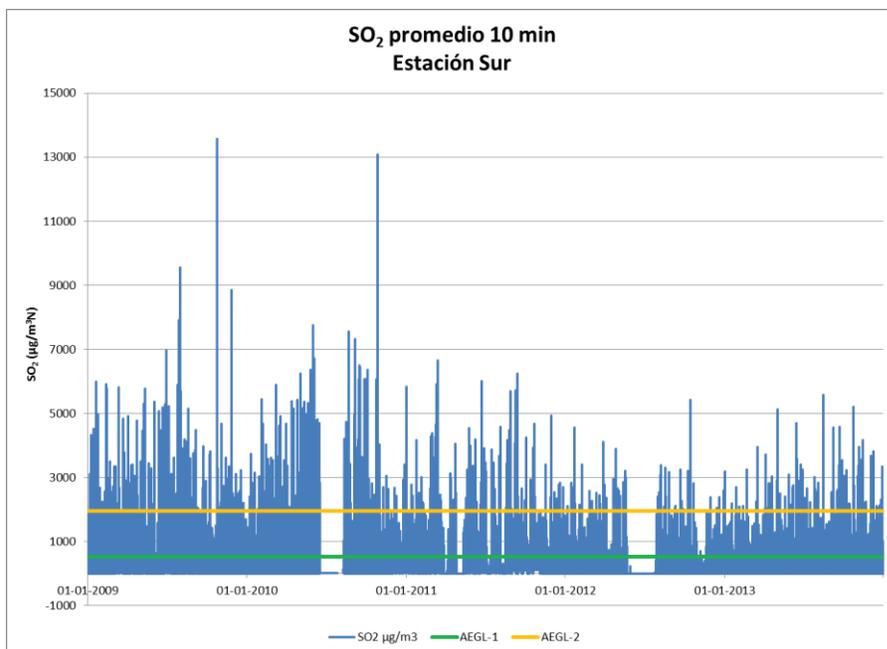
**Figura 204. Mediciones de SO<sub>2</sub> (horas) en la Estación Sub Estación Eléctrica**

**Tabla 66: Análisis de Exposición Aguda Zona 3: Mejillones (Estación Sub Estación Eléctrica)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2011	8588	1 hora	0	0	0
2012	8711	1 hora	1	0	0
2013	8692	1 hora	0	0	0

### Localidad 4: Antofagasta (Estación Sur)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 11328 veces el AEGL-1 y 2094 veces el AEGL-2 entre los años 2009 y 2013 (Figura 205 y Tabla 67).



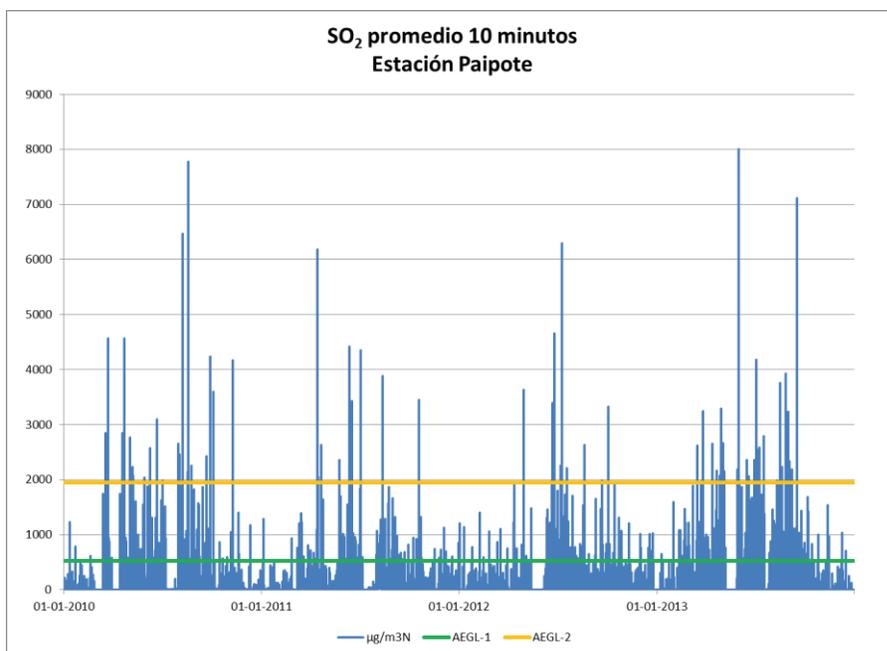
**Figura 205. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Sur**

**Tabla 67: Análisis de Exposición Aguda Zona 4: Antofagasta (Estación Sur)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2009	52545	10 min	3568	585	0
2010	50580	10 min	3750	1031	0
2011	52560	10 min	2822	352	0
2012	52698	10 min	1188	126	0
2013	52545	10 min	2199	225	0

### Localidad 5: Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Paipote)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 2910 veces el AEGL-1 y 210 veces el AEGL-2 entre los años 2010 y 2013 (Figura 206 y Tabla 68).



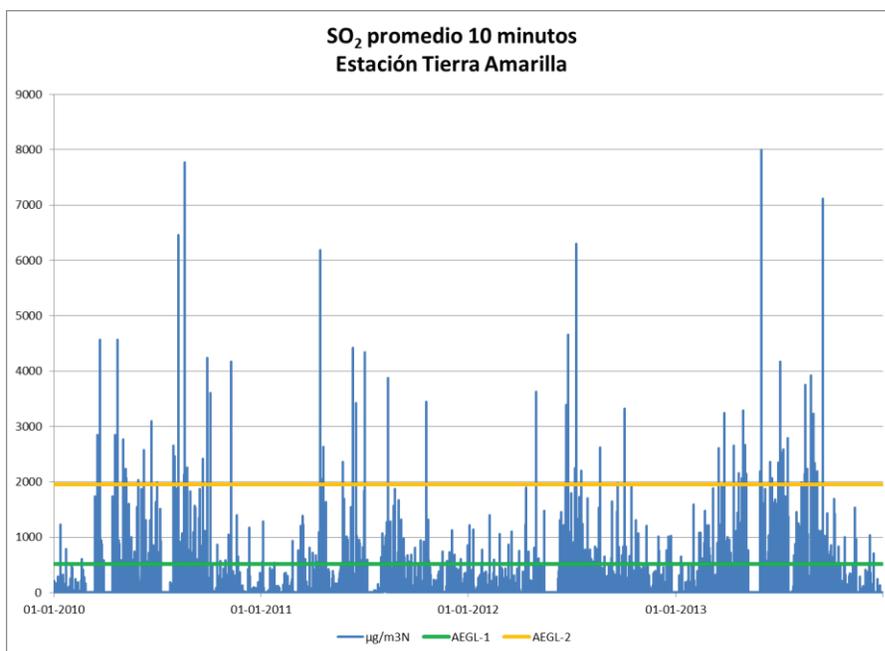
**Figura 206. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Paipote**

**Tabla 68: Análisis de Exposición Aguda Zona 5: Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Paipote)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2010	52052	10 min	562	57	0
2011	52112	10 min	463	32	0
2012	51974	10 min	533	32	0
2013	52243	10 min	1355	89	0

**Localidad 5: Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Tierra Amarilla)**

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 829 veces el AEGL-1 y 22 veces el AEGL-2 entre los años 2010 y 2013 (Figura 207 y Tabla 69).



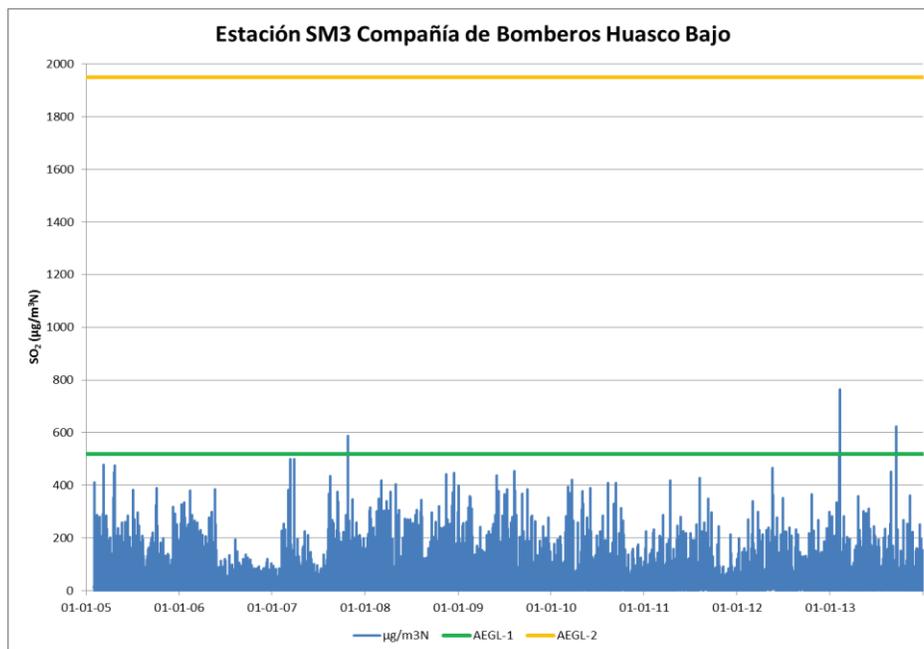
**Figura 207. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Tierra Amarilla**

**Tabla 69: Análisis de Exposición Aguda Zona 5: Copiapó-Paipote-Tierra Amarilla (Estación Tierra Amarilla)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2010	8745	10 min	84	1	0
2011	52261	10 min	142	9	0
2012	52325	10 min	233	3	0
2013	48083	10 min	370	9	0

**Localidad 6: Huasco (Estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo)**

Para esta estación, las concentraciones promedio de 1 hora de SO<sub>2</sub> excedieron solo 3 veces el AEGL-1 entre los años 2005 y 2013 (Figura 208 y Tabla 70).



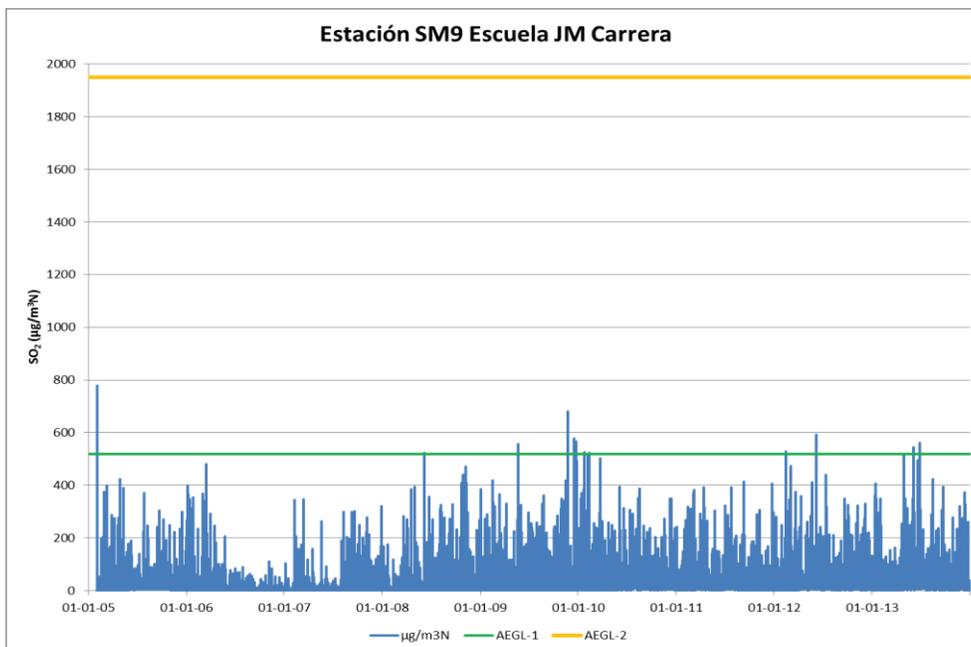
**Figura 208. Mediciones de SO<sub>2</sub> (horas) en la Estación SM3 Cia. Bomberos**

**Tabla 70: Análisis de Exposición Aguda Zona 6: Huasco (Estación SM3 Compañía de Bomberos Huasco Bajo)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2005	7984	1 hora	0	0	0
2006	8721	1 hora	0	0	0
2007	8729	1 hora	1	0	0
2008	8742	1 hora	0	0	0
2009	8610	1 hora	0	0	0
2010	8665	1 hora	0	0	0
2011	8570	1 hora	0	0	0
2012	8680	1 hora	0	0	0
2013	8605	1 hora	2	0	0

### Localidad 6: Huasco (Estación Escuela JMC)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 1 hora de SO<sub>2</sub> excedieron 14 veces el AEGL-1 entre los años 2005 y 2013 (Figura 209 y Tabla 71).



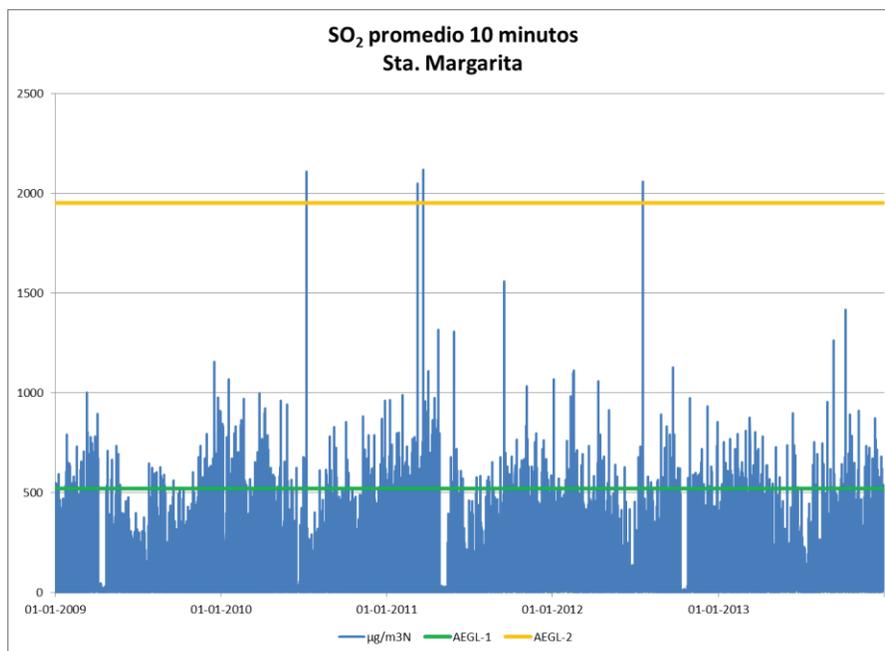
**Figura 209. Mediciones de SO<sub>2</sub> (horas) en la Estación SM9 Escuela JMC**

**Tabla 71: Análisis de Exposición Aguda Zona 6: Huasco (Estación SM9 Escuela JMC)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2005	7976	1 hora	1	0	0
2006	8712	1 hora	0	0	0
2007	8719	1 hora	0	0	0
2008	8727	1 hora	1	0	0
2009	8664	1 hora	6	0	0
2010	8650	1 hora	2	0	0
2011	8620	1 hora	0	0	0
2012	8670	1 hora	2	0	0
2013	8602	1 hora	2	0	0

### Localidad 7: Catemu-Llay Llay (Estación Santa Margarita)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 1386 veces el AEGL-1 y 7 veces el AEGL-2 entre los años 2009 y 2013 (Figura 210 y Tabla 72).



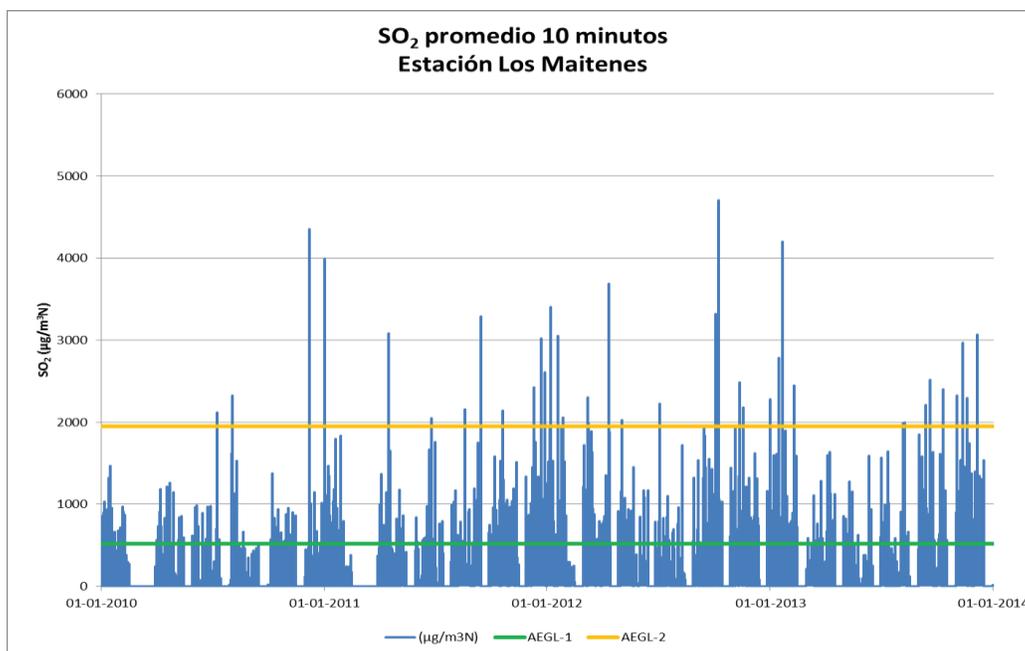
**Figura 210. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Santa Margarita**

**Tabla 72: Análisis de Exposición Aguda Zona 7: Catemu-Llay Llay (Estación Santa Margarita)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2009	50541	10 min	208	0	0
2010	49791	10 min	326	2	0
2011	50773	10 min	388	3	0
2012	51337	10 min	222	2	0
2013	51644	10 min	242	0	0

**Localidad 8: Quintero-Puchuncaví (Estación Los Maitenes)**

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 3159 veces el AEGL-1 y 56 veces el AEGL-2 entre los años 2005 y 2013 (Figura 211 y Tabla 73).



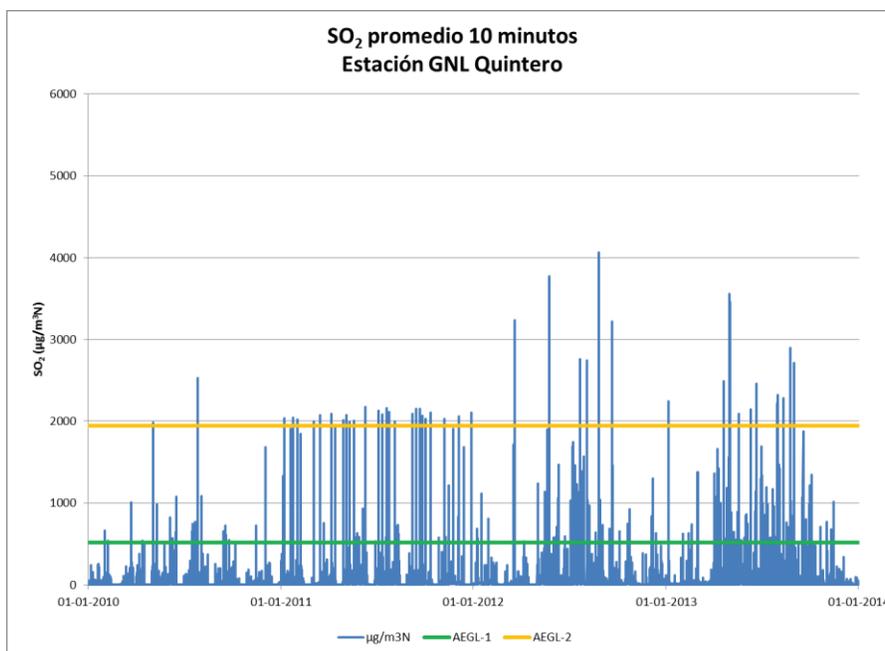
**Figura 211. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Los Maitenes**

**Tabla 73: Análisis de Exposición Aguda Zona 8: Quintero-Puchuncaví (Estación Los Maitenes)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2005	36449	10 min	284	3	0
2006	36824	10 min	570	10	0
2007	39025	10 min	756	17	0
2008	37310	10 min	857	21	0
2009	39043	10 min	692	5	0
2010	37310	10 min	346	21	0
2011	38720	10 min	279	2	0
2012	37310	10 min	156	21	0
2013	51872	10 min	266	1	0

**Localidad 8: Quinteros-Puchuncaví (Estación GNL Quintero)**

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 844 veces el AEGL-1 y 80 veces el AEGL-2 entre los años 2010 y 2013 (Figura 212 y Tabla 74).



**Figura 212. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación GNL Quintero**

**Tabla 74: Análisis de Exposición Aguda Zona 8: Quintero-Puchuncaví (Estación GNL Quintero)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2010	38320	10 min	62	2	0
2011	39003	10 min	176	50	0
2012	45508	10 min	281	12	0
2013	51930	10 min	325	16	0

### Localidad 9: Coya-Machalí (Estación Coya Club)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 10 minutos de SO<sub>2</sub> excedieron 6882 veces el AEGL-1 y 6 veces el AEGL-2 entre los años 2005 y 2013 (Figura 213 y Tabla 75).

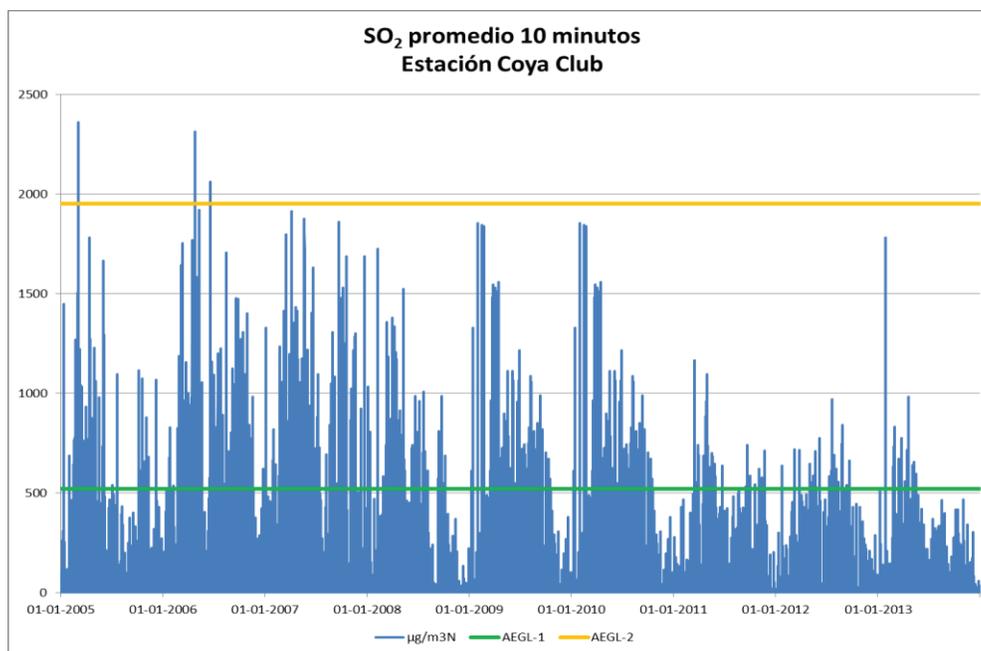


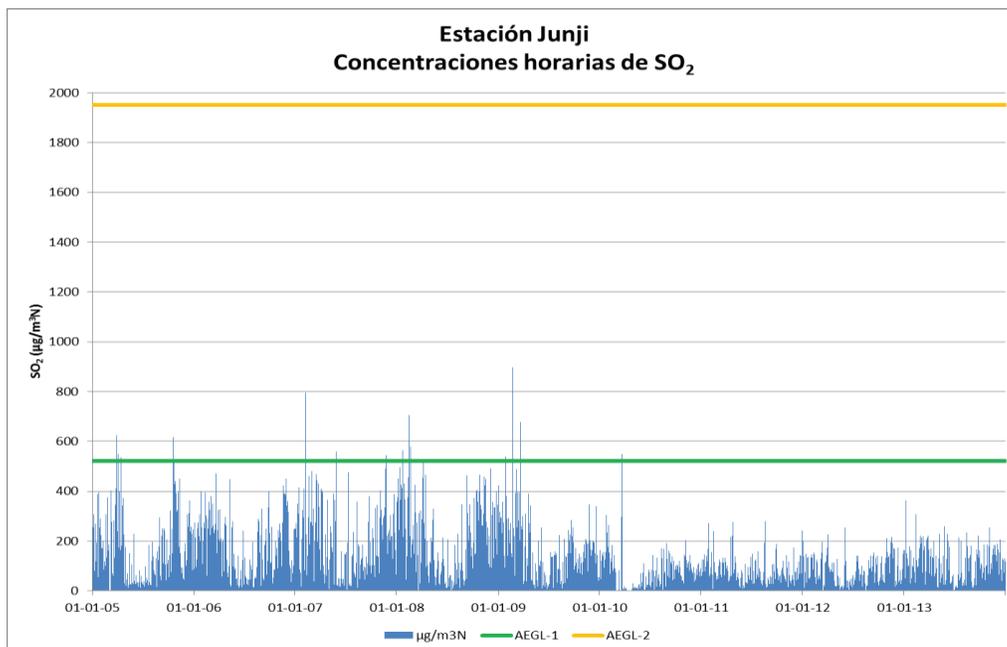
Figura 213. Mediciones de SO<sub>2</sub> (10 min) en la Estación Coya

Tabla 75: Análisis de Exposición Aguda Zona 9: Coya-Machalí (Estación Coya Club)

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2005	52258	10 min	652	2	0
2006	52079	10 min	1480	4	0
2007	52286	10 min	1418	0	0
2008	52138	10 min	641	0	0
2009	51116	10 min	1052	0	0
2010	51116	10 min	1052	0	0
2011	52173	10 min	310	0	0
2012	52146	10 min	175	0	0
2013	51126	10 min	102	0	0

### Localidad 10: Coronel-Lota-Huelpén (Junji)

Para esta estación, las concentraciones promedio de 1 hora de SO<sub>2</sub> excedieron 22 veces el AEGL-1 entre los años 2005 y 2013 (Figura 214 y Tabla 76).



**Figura 214. Mediciones de SO<sub>2</sub> (horas) en la Estación Junji**

**Tabla 76: Análisis de Exposición Aguda Zona 10: Coronel-Lota-Huelpén (Junji)**

Año de Monitoreo	N° Mediciones	Frecuencia temporal	Superación del Nivel de Referencia		
			AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
2005	6506	1 hora	6	0	0
2006	6689	1 hora	0	0	0
2007	7012	1 hora	6	0	0
2008	8177	1 hora	5	0	0
2009	8537	1 hora	4	0	0
2010	7745	1 hora	1	0	0
2011	8626	1 hora	0	0	0
2012	8290	1 hora	0	0	0
2013	8332	1 hora	0	0	0

### 5.3.10. Caracterización de los riesgos en salud

De acuerdo a lo descrito en secciones anteriores, el procedimiento para la caracterización del riesgo de una exposición al SO<sub>2</sub>, el nivel más bajo que está libre de efectos negativos en la salud es el AEGL-1 de 520 µg/m<sup>3</sup>.

El AEGL-1 está basado en el peso de evidencia de datos de humanos asmáticos que sugiere que 520 µg/m<sup>3</sup> puede ser el NOEL para broncoconstricción en asmáticos en ejercicio por 5 - 75 minutos, pero no tiene efectos en individuos sanos. Leves aumentos en la concentración del SO<sub>2</sub> lleva a un aumento en la resistencia de las vías aéreas SRaw, con la mayor parte del aumento de broncoconstricción ocurriendo dentro de 10 minutos.

Considerando solo el último año de monitoreo se aprecia que en 11 de los 13 escenarios se excedió el AEGL-1 de 520 µg/m<sup>3</sup> (Tabla 77),

La exposición a niveles AEGL-2 basados en un peso de evidencia en humanos asmáticos sugiere que 1950 µg/m<sup>3</sup> induce una respuesta moderada en asmáticos en ejercicio para exposiciones entre 10 min a 3 horas.

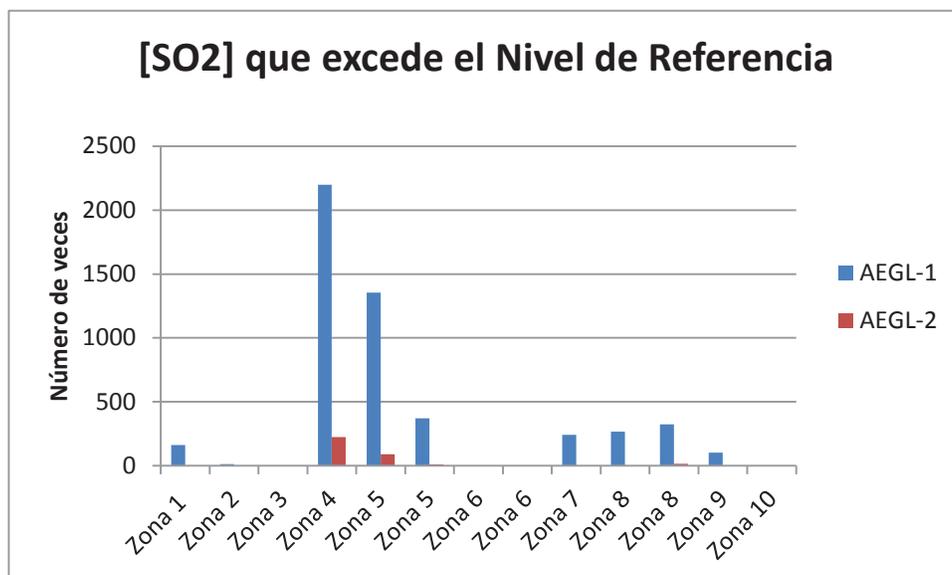
Considerando solo el último año de monitoreo se aprecia que en 5 de los 13 escenarios se excedió el AEGL-2 de 1950 µg/m<sup>3</sup> (Tabla 77), considerado discapacitante para la población general, incluyendo receptores susceptibles tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades.

De acuerdo a lo anterior se puede apreciar que los receptores de las zonas de estudio, se encuentran expuestos en ocasiones a altas concentraciones, de corta duración (exposición aguda) de SO<sub>2</sub>, que puede afectar su salud con el incremento de enfermedades respiratorias.

No se registró excedencia del AEGL-3 en ningún caso.

**Tabla 77: [SO<sub>2</sub>] que excede el Nivel de Referencia**

Zonas Año 2013	[SO <sub>2</sub> ] que excede el Nivel de Referencia		
	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
Zona 1	162	0	0
Zona 2	12	0	0
Zona 3	0	0	0
Zona 4	2199	225	0
Zona 5	1355	89	0
Zona 5	370	9	0
Zona 6	2	0	0
Zona 6	2	0	0
Zona 7	242	0	0
Zona 8	266	1	0
Zona 8	325	16	0
Zona 9	102	0	0
Zona 10	0	0	0



**Figura 215. [SO<sub>2</sub>] que Excede el Nivel de Referencia**

Cabe señalar que la información más directa de los efectos de corto plazo del SO<sub>2</sub> proviene de estudios en cámara controlada usando voluntarios. La mayoría de estos estudios han sido por períodos de exposición entre pocos minutos y hasta 1 hora.

Las concentraciones aéreas de SO<sub>2</sub> de 5-10 minutos son de preocupación solamente para localidades específicas, típicamente ubicadas cerca de las fuentes. Lugares donde ocurren peaks de SO<sub>2</sub> de corta duración requieren estándares de 5-10 minutos. Esto trae la pregunta si se puede monitorear con precisión de SO<sub>2</sub> nivel.

Los peaks de 10 min de SO<sub>2</sub> son de la más alta preocupación en áreas cercanas a las fuentes de origen.

### 5.3.11. Evaluación y análisis de la incertidumbre

En el análisis de la incertidumbre, se pregunta:

- ¿Cuáles son las fuentes de incertidumbre que pueden influir en la calidad de las conclusiones y resultados?
- ¿Cómo afecta la variabilidad de los factores de exposición a los resultados de riesgo final?

Inevitablemente, existe una considerable incertidumbre inherente en determinados aspectos de la toxicología y análisis de riesgos en la salud. Estas comienzan con el uso de suposiciones e inferencias necesarias para llevar a cabo la estimación de riesgo.

Hay numerosas metodologías para describir cualitativamente y *cuantificar* la incertidumbre en un análisis de riesgos en la salud asociados con sustancias químicas. Estas incluyen métodos analíticos para modelos simples y enfoques numéricos que requieren uso de computadoras para modelos más complejos. Así, se dispone de análisis por árboles de decisión o lógicos, análisis de sistemas, y métodos de simulación por propagación de error.

#### Bases conceptuales del problema

##### Variabilidad, estocasticidad, o incertidumbre tipo A

La variabilidad se debe a la verdadera *heterogeneidad natural* de los factores de exposición humana. Por ejemplo, ingesta diaria, peso corporal, tasa de respiración, actividad física o en el trabajo. La estocasticidad no puede reducirse a través de más mediciones, pero puede ser descrita y estimada. Una evaluación del riesgo que incorpora la incertidumbre debido a la variabilidad natural de factores de exposición humana se conoce como una evaluación de riesgos de salud estocástico (SHRA) y ocasionalmente se lo denomina probabilística. La heterogeneidad puede causar una reducción de la precisión de las estimaciones, cambiar la forma de un modelo de exposición, o reducir la generalización de los resultados de un estudio. La variabilidad es un fenómeno físico, químico y biológico.

##### Verdadera incertidumbre o incertidumbre tipo B

Esta es atribuible a la ignorancia o falta de conocimiento sobre un elemento crítico mal caracterizado en la evaluación del riesgo. Ejemplos incluyen juicio profesional o sesgo, incertidumbre asociada a la toxicidad de los productos químicos tales como efectos aditivos, sinérgicos o antagónicos; pendiente de potencia; extrapolación interespecies dosis. La verdadera incertidumbre puede reducirse a través de más conocimiento y mediciones, pero no puede ser descrito o estimado. Error humano, una parte inevitable de todas las actividades humanas, es un ejemplo de incertidumbre. Errores

sistemáticos en las mediciones y muestreo, errores de registro de datos o errores computacionales, pueden minimizarse mediante la imposición de un programa de control de calidad y aseguramiento de la calidad terminante. La incertidumbre es un fenómeno intelectual.

En el análisis de riesgo por exposición al SO<sub>2</sub> se pueden identificar las siguientes fuentes de incertidumbre.

### **Incetidumbre en la información de toxicidad y efectos en la salud**

Estas fuentes son *independientes de la evidencia específica* del problema de contaminación, y están asociadas con la información de toxicidad y efectos en la salud. Ejemplos:

- Debida a diferencias entre individuos (susceptibilidad) asociados intrínsecamente con los criterios de toxicidad. Por ejemplo, en las dosis de referencia, la incertidumbre depende de los factores de incertidumbre aplicados en la derivación de las dosis de referencia.
- Uso de criterios de toxicidad sustitutos tomados de compuestos análogos.

### **Incetidumbre en la evidencia de las variables**

Estas se refieren a las fuentes de incertidumbre en las mediciones o cálculo de la concentración. Esta incertidumbre está relacionada con la *evidencia específica* del problema de contaminación e independiente de la toxicidad y efectos biológicos. Ejemplos:

- Cuando las mediciones de las concentraciones del SO<sub>2</sub> ambiental son sustitutos de exposición personal al SO<sub>2</sub> ambiental.
- Cuando los niveles de detección analítica están por encima de los niveles ambientales que están libres de efectos biológicos considerados negativos. Similarmente, cuando los límites de detección metodológicos son demasiado altos para contaminantes críticos.
- El número de muestras. Un número limitado de muestras está asociada a una baja exactitud y precisión del valor representativo de concentración, y por lo tanto una mayor incertidumbre en la validez de los resultados de análisis.
- Es probable que compuestos adicionales formen parte de las mezclas aéreas.
- El error instrumental y en la medición.
- Incertidumbre en estudios epidemiológicos que están asociados con variación espacial y variación de SO<sub>2</sub> a través de las comunidades.

## **Fuentes de incertidumbre en la estimación de exposición al contaminante**

Esta se refiere a la incertidumbre en la estimación del ingreso de contaminantes al organismo. Ejemplos:

- En la estimación de la concentración del contaminante, tal como la concentración medida en el medio ambiente y la exposición promedio de la comunidad.
- Un límite de detección que no está suficientemente por debajo de una dosis de referencia, puede contribuir al riesgo en la salud aun cuando el análisis no haya revelado concentración o presencia positiva.

## **Incertidumbre en los modelos de migración ambiental, exposición y riesgo**

- El modelo USEPA PNAAQs presenta un alto nivel de complejidad y desde este punto de vista, de incertidumbre.

## **Conclusiones del análisis de incertidumbre**

En el presente análisis de riesgo se debe suponer que hay aspectos que están afectados por incertidumbre. Errores, supuestos, y modelos pueden resultar en *sobre-estimación* o *sub-estimación* de concentraciones de contaminantes, niveles de exposición, y por ende, de riesgo en la salud. Una subestimación inadvertida sin embargo es la más seria. Practicantes de análisis de riesgo, como también agencias de gobierno tales como la USEPA han establecido principios y prácticas para controlar una incertidumbre adicional en el proceso.

El documento explica los antecedentes teóricos de índole cualitativos. Un análisis cuantitativo debe ser específico y no genérico, y consume recursos de tiempo, personal, y computación. Un análisis Monte-Carlo sólo puede llevarse a cabo con una hipótesis definida. El análisis puede llevarse a cabo con una entrada o doble entrada, lo que lo hace mucho más complejo no sólo para el profesional que lleva a cabo el análisis estadístico, sino que es mucho más difícil para ser explicado.

En el presente estudio se puso especial énfasis en el control de la incertidumbre en los datos de calidad de aire. Así, la información con datos crudos fue recibida, verificada, y revisada por errores. Este trabajo, que significó un trabajo extraordinario, permite asegurar que la evidencia de calidad de aire es sólida y confiable.

En conclusión, la incertidumbre identificada en el presente estudio es considerada típica para problemas ambientales.

### 5.3.12. Conclusiones de la evaluación de riesgo

En base a los resultados obtenidos se concluye:

Es fundamental disponer de las concentraciones del contaminante en el aire en acotadas medidas temporales debido a las características toxicológicas del SO<sub>2</sub> (efectos agudos) y no aplica determinar una única concentración promedio representativa como en el caso de efectos crónicos.

No se identificó un procedimiento para el cálculo de la dosis de exposición aguda de SO<sub>2</sub> por inhalación, por lo cual se llevó a cabo por comparación directa de la concentración aérea de SO<sub>2</sub>, utilizando los Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs), como valores de referencia para evaluar las emisiones aéreas de corto plazo.

La influencia de niveles intermedios de dióxido de azufre (en el orden de 520 µg/m<sup>3</sup> en niveles próximos al valor AEGL-1 descrito como la concentración que provoca molestia en la población y efectos pasajeros; o sea, perceptibles) fueron detectados en el 58% de los escenarios estudiados durante el último año.

Los niveles detectados excedieron el valor de AEGL-2 de 0,75 ppm = 1,95 mg/m<sup>3</sup> en 5 escenarios analizados durante el año 2013 considerado discapacitante para la población general, incluyendo receptores susceptibles tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades.

No fueron detectados eventos de superación del AEGL-3.

## 5.4. Evaluación económica y social

### 5.4.1. Introducción: Fundamentos conceptuales del análisis

La evaluación económica y social de normas ambientales busca comprender las implicancias de una regulación desde una perspectiva que considera los cambios que se producirían sobre dichos ámbitos de la actividad humana. Para llevar adelante esta evaluación, se puede utilizar, básicamente, dos enfoques.

El primero consiste, a grandes trazos, en monetizar (llevar a valores monetarios) todos los costos y beneficios identificables<sup>57</sup> (ambientales y no ambientales) por las personas para compararlos entre ellos (formalmente) y ver si la suma de estos valores genera un beneficio neto (beneficio mayor que costo) o un costo neto (costo mayor que beneficio), siempre considerando en un plazo definido y descontando (valor presente) los valores para poder compararlos como si ocurrieran en un mismo momento<sup>58</sup>.

En este enfoque (análisis de costos y beneficios) se busca cuantificar la mayor cantidad posible de impactos y analizar cualitativamente aquellos que (ya sea por ausencia de datos o por complejidad del cálculo) no sea posible de cuantificar (o monetizar). Los costos o beneficios analizados cualitativamente se utilizan para reforzar o matizar los resultados obtenidos en el ejercicio cuantitativo.

Los resultados pueden ser sensibilizados para diferentes supuestos de manera de recoger los posibles escenarios posibles (rangos de impacto o de valor). Es, esencialmente, un enfoque que se concentra en la “eficiencia” agregada de una acción o de un estándar. Entrega resultados definitivos para comparación; es decir, bajo un conjunto homogéneo de supuestos establece un ordenamiento claro de las opciones “mejores” o “peores”.

En este enfoque, los aspectos distributivos pueden ser considerados directamente (ponderando de manera diferente los impactos de costos y beneficios de distintos agentes) o considerarse en términos más cualitativos una vez obtenidos los resultados cuantitativos.

El segundo enfoque (análisis socioeconómico) consiste, en lo medular, en identificar los cambios que una determinada acción institucional provoca sobre el bienestar en los ámbitos socioeconómicos sustantivos; es decir sobre las condiciones de vida: la

---

<sup>57</sup> Un costo (o un beneficio) puede ser directamente material o se un perjuicio (o beneficio) percibido por alguna persona. Es una medición estrictamente antropocéntrica e individual (es decir, considera el beneficio o perjuicio percibido por cada individuo. En este enfoque los costos y beneficios individuales son sumados para obtener el costo y beneficio social.

<sup>58</sup> Debe notarse, adicionalmente, que el grado de monetización de costos y beneficios depende también de consideraciones sobre la pertinencia conceptual y ética de valorar ciertos tipos de impactos que nos directamente materiales

realidad de cada uno de estos sistemas humanos<sup>59</sup>. Los cambios que afectan a la economía se entienden, en este marco, como aquellos que pueden resultar (en plazos que no tienen que estar estrictamente definidos) sobre la producción, intercambio y consumo de bienes y servicios relacionados con el bienestar material. Los cambios que afectan a la sociedad se refieren a aquellos que determinan las condiciones de la vida social institucional (organizaciones) y la calidad de vida individual (las relaciones sociales, los aspectos patrimoniales, y las percepciones sobre las condiciones subjetivas).

En este segundo enfoque, el análisis también toma en cuenta elementos cuantitativos y cualitativos, pero no busca reducir todo a costos y beneficios individuales agregados y comparables, si no que identifica impactos (es decir cambios relevantes) generados por efecto de una acción sobre ámbitos específicos (un sector económico por ejemplo), grupos de personas (organizaciones formales o informales o agentes interesados en general) o sobre las relaciones entre ellos (aspectos distributivos o de desigualdad).

En el análisis cuantitativo es posible utilizar variados tipos de mediciones (no necesariamente todas monetizadas, ni siquiera en el análisis del ámbito económico) que pueden o no relacionarse con la eficiencia de la medida, y se puede buscar (o no) resumir todos los análisis en un indicador o usar un conjunto de mediciones diverso<sup>60</sup>.

Como se observa, este enfoque es más abierto que el primero (cubre un espectro de temas más amplio y con metodologías y criterios más variados) y se concentra tanto en identificar el proceso de cambios como los cambios mismos.

Es importante notar que ambos enfoques permiten ver tanto la conveniencia de normar como la conveniencia relativa de una u otra opción normativa. Sin embargo, el primer enfoque está más estrictamente orientado a definir con “precisión” cuál es la “mejor” normativa pues establece un criterio definitivo. El segundo enfoque, si bien entrega antecedentes relevantes para la decisión, finalmente mantiene la decisión en el ámbito político.

La utilización de uno u otro de estos enfoques depende de consideraciones de muy diversa índole.

Una de las consideraciones es de orden metodológico y tiene que ver con la lógica conceptual y la pertinencia de cuantificar y monetizar todos los tipos de costos y beneficios, materiales y no materiales, bajo un marco utilitarista. Otra consideración metodológica tiene que ver con la necesidad o no de disponer de un “valor” resumen que identifique claramente si la acción bajo análisis (en este caso, una norma ambiental) debe o no ser tomada. Desde una perspectiva más ética, se discute a veces la pertinencia de usar métodos que tienden a favorecer a grupos grandes (porque se consideran de manera aditiva) o de mayor disposición a pagar (porque la valorización de sus costos o beneficios será mayor dada). Por otra parte, algunos

---

<sup>59</sup> Existen fuertes interrelaciones entre los sistemas económicos y sociales por lo que a menudo es difícil separarlos con claridad.

<sup>60</sup> Metodologías como el análisis multicriterio se utilizan a menudo en este enfoque cuando se busca tener un número reducido de indicadores para orientar la toma de decisiones.

cuestionan metodológicamente el que no se use mediciones homogéneas para todos los tipos de impactos considerados.

Adicionalmente a los temas metodológicos y éticos, una consideración importante para la aplicación de uno u otro de los enfoques es la disponibilidad y la calidad de los datos existentes, tanto en términos de las mediciones de impacto físico (sobre los seres humanos directamente o sobre los bienes) como de las mediciones de valor que permiten monetizar. Existen por lo demás técnicas específicas para obtener valores monetarios para ciertos impactos no monetarios que a menudo son de alta complejidad y también altamente exigente en recursos.

Ambos enfoques no son contradictorios, sino que pueden ser complementarios, aunque normalmente se utiliza sólo alguno de ellos en función de alguna de las consideraciones planteadas previamente.

En este informe, se ha optado por la utilización de ambos enfoques, ajustados a la disponibilidad de información y a las posibilidades reales en el contexto del estudio. Finalmente, se presentará una síntesis de los aportes de cada enfoque y algunos criterios de pertinencia para cada uno en este caso.

Una razón fundamental para no concentrarse en una sola perspectiva, es que la medida bajo análisis es más bien un marco habilitante para un conjunto de acciones con resultados posteriores que una acción en sí misma. Por lo tanto, se requiere una mirada más amplia a sus posibles consecuencias.

Adicionalmente, el hecho de contar con relativamente pocos datos para identificar con precisión costos y beneficios monetizados, que es el enfoque más usual para el análisis de impactos sociales y económicos, sugiere la necesidad de incorporar la segunda perspectiva para obtener mejores criterios para la decisión. Asimismo, cabe destacar que la evaluación de costos y beneficios fue diseñada con el propósito de evaluar proyectos, por lo que no toma en cuenta el rol de la norma dentro de la institucionalidad (habilitante para un conjunto de medidas que protegen a la población).

Finalmente, se debe notar que la norma es de nivel nacional, pero que los efectos actuales se despliegan en territorios específicos, por lo que el enfoque de análisis socioeconómico puede incorporar posibles impactos futuros en otras zonas (aun completamente inciertos), de manera más coherente con el resto del análisis.

En consecuencia, usar ambos enfoques permite mostrar una visión más completa de las implicancias económicas y sociales de esta norma.

Se parte en la sección siguiente, con una revisión de los antecedentes cuantitativos disponibles, y se continúa con el análisis de costos y beneficios tomando en cuenta todas las restricciones existentes para su desarrollo. La sección posterior desarrolla algunos elementos centrales de un análisis socioeconómico y finalmente las conclusiones buscan integrar los resultados principales de ambos enfoques para aportar a la toma de decisiones.

### 5.4.2. Antecedentes generales

Es importante tener presente que la norma de concentración se suma a otros instrumentos regulatorios orientados a reducir la contaminación por SO<sub>2</sub>. Estos instrumentos regulatorios son los siguientes:

**Tabla 78. Instrumentos Regulatorios vigentes para el SO<sub>2</sub>.**

Instrumento regulatorio	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Termoeléctricas Reducción de SO <sub>2</sub> (23 de junio 2016)											
Fundiciones Reducción de SO <sub>2</sub> (12 de diciembre 2018)											
País Combustibles transporte S < 15 ppm											
RM Combustibles transporte S < 15 ppm											
País Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM Combustibles industria diésel S < 50 ppm											
RM: Combustibles industria FUEL 5 - 6 1% de S											
País: Combustible industria FUEL 5 - 6 : de 5% paso a 3% de S											

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

A esto se le debe sumar que la implementación efectiva de la norma se hace por medio de instrumentos específicos: (aún inexistentes) La existencia de varios instrumentos regulatorios que inciden sobre las concentraciones de SO<sub>2</sub>, exigen considerar como se hará la asignación de costos y beneficios en los casos pertinentes. Esta asignación deberá tomar en cuenta que la norma de SO<sub>2</sub> es el marco habilitante para la implementación de acciones específicas (como los planes de prevención y descontaminación).

Adicionalmente, la norma se está analizando en tres configuraciones posibles, cada una de las cuales tendrá diferentes implicancias económicas y sociales.

**Tabla 79. Escenarios de normativa para el SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>N).**

	1 hora	24 horas	Anual
<b>E1</b>	197	--	--
<b>E2</b>	350	125	60
<b>E3</b>	500	150	80

<i>Base</i>	--	250	80
-------------	----	-----	----

Cada una de estas configuraciones debería ser considerada, pero como se verá, no existe información precisa para hacerlo en detalle, por lo que se analizarán a partir de criterios generales.

Finalmente, debe considerarse que si bien la norma es de alcance nacional, los impactos medibles actualmente están acotados a ciertas áreas que tienen altas concentraciones de SO<sub>2</sub> (Tocopilla, Calama, Mejillones, Antofagasta, Copiapó, Paipote y Tierra Amarilla, Huasco, Catemu, Llay Llay, Quintero, Puchuncaví, Machalí, Coya, Coronel, Lota y Hualpén). En el largo plazo, hay más lugares posiblemente influenciados por la norma, pero en ausencia de información de proyectos específicos es imposible precisar cuáles serían, lo cual también tendrá implicancias para el análisis del problema. A continuación se resume información de estas localidades en términos de SO<sub>2</sub>.

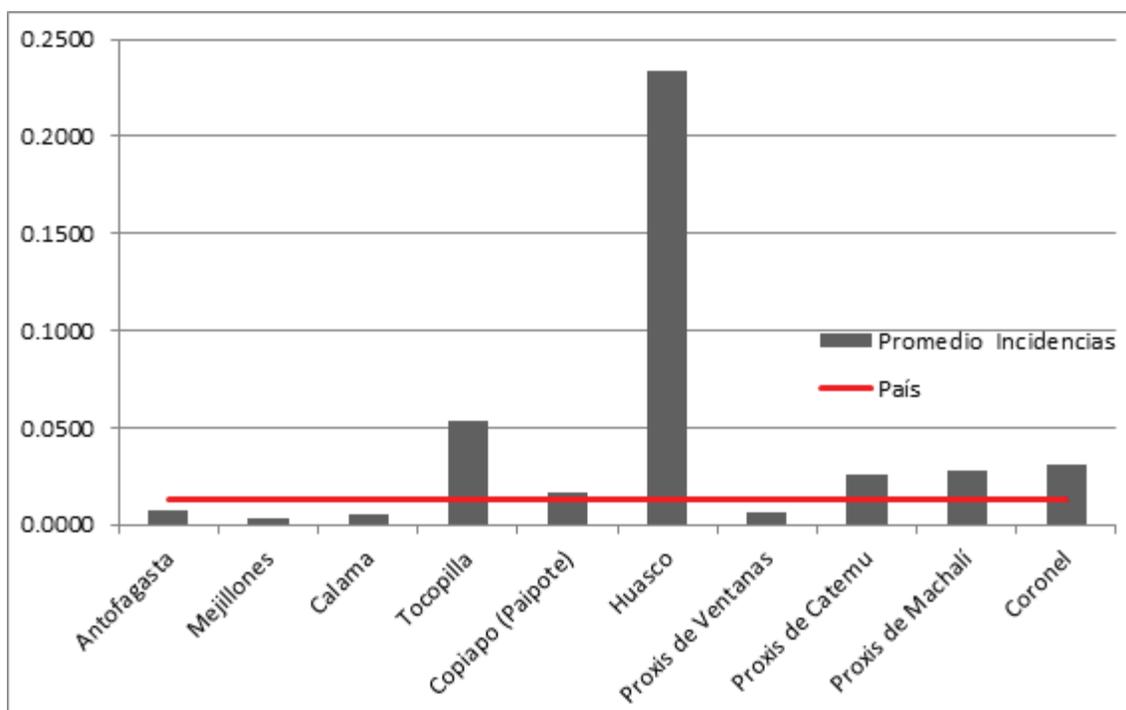
### **Urgencias respiratorias**

La gran mayoría de las localidades evaluadas sobrepasan todos los escenarios regulatorios con diferentes frecuencias. A continuación se mostrará evidencia del impacto de altos niveles de SO<sub>2</sub> en ciertas localidades sobre casos de urgencias respiratorias agudas (especialmente en Tocopilla y Huasco) en relación con sus regiones de pertenencia y con el país.

En la Figura 216<sup>61</sup> se puede observar el promedio anual de incidencias de urgencias respiratorias de crisis obstructiva bronquial, que incluye asma. De las 10 localidades bajo estudio seis están por sobre la media del país. Tres de estas localidades son proxis debido a incluyen otras comunas por lo que el efecto de consulta de urgencia por crisis obstructiva bronquial esta subestimado<sup>62</sup>. En este contexto es importante hacer notar que todas las presentes son subestimaciones de las verdaderas cifras, ya que en el análisis se incorporó la población de toda la comuna, y no solamente las localidades afectadas.

<sup>61</sup> En este gráfico y en los siguientes, se toma en algunos casos datos que son “proxis” de las localidades bajo estudio, ya que no se tiene la información específica de esas localidades.

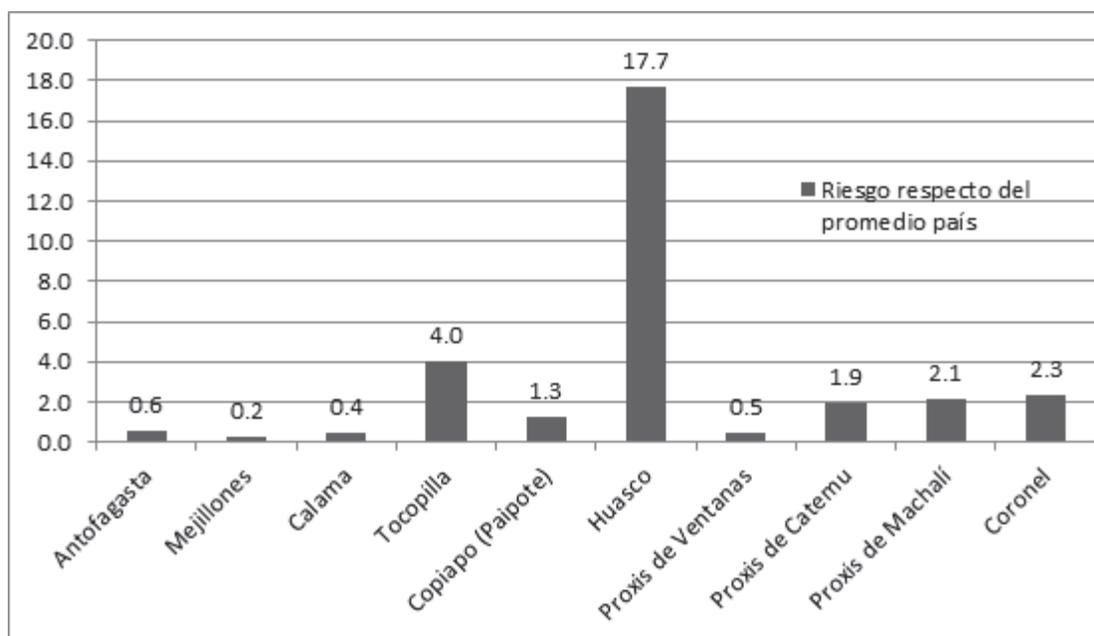
<sup>62</sup> La información proviene de diversas fuentes: Población Antofagasta, Mejillones, Calama, Tocopilla, Huasco - censo 2002; Copiapó (incluye Paipote) - censo 2002; Puchuncaví sin información, incluye Quillota - censo 2012, Quilpué - censo 2012, Villa Alemana sin información; Catemu, incluye Los Andes censo 2002, San Felipe casen 2006; Machali censo 2012, incluye Rengo censo 2002, Requinoa censo 2002, San Fernando - censo 2002; Coronel censo 2012.



**Figura 216. Promedio anual de incidencias de Urgencias Respiratorias (2010 al 2013). Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

Desde una perspectiva distributiva las poblaciones de las comunas en estudio están pagando los costos de los impactos ambientales de las fundiciones y termoeléctricas que están a su alrededor, exponiendo a esta población a más alta incidencia de enfermedades respiratorias, como se visualiza en el Figura 217.

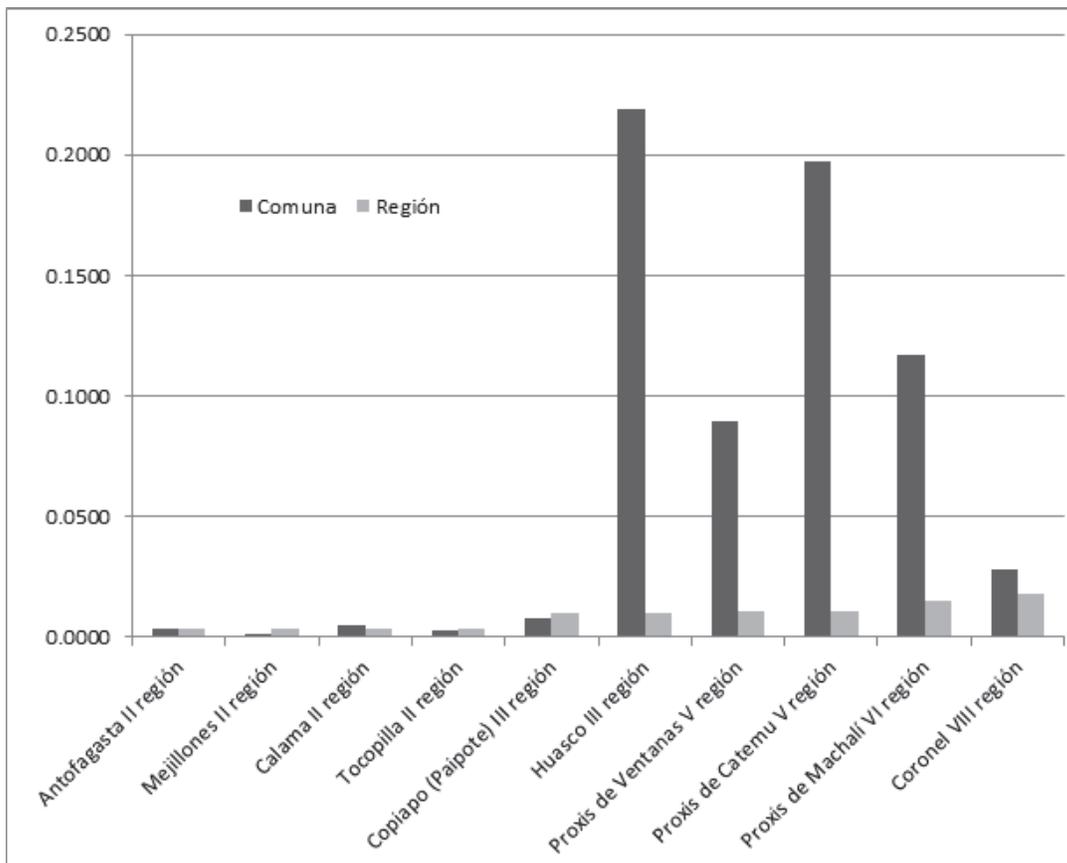
En esta figura se muestra cómo se multiplica el riesgo de cuadro respiratorio agudo (crisis obstructiva bronquial, que incluye asma) en cada comuna bajo estudio respecto del promedio en el país. En todas las comunas donde hay altas concentraciones de  $SO_2$  se sobrepasa el promedio nacional, siendo Huasco y Tocopilla claramente las comunas más afectadas con 17,7 y 4 veces el promedio nacional, respectivamente.



**Figura 217. Riesgo de cuadro respiratorio agudo respecto del promedio del país.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.

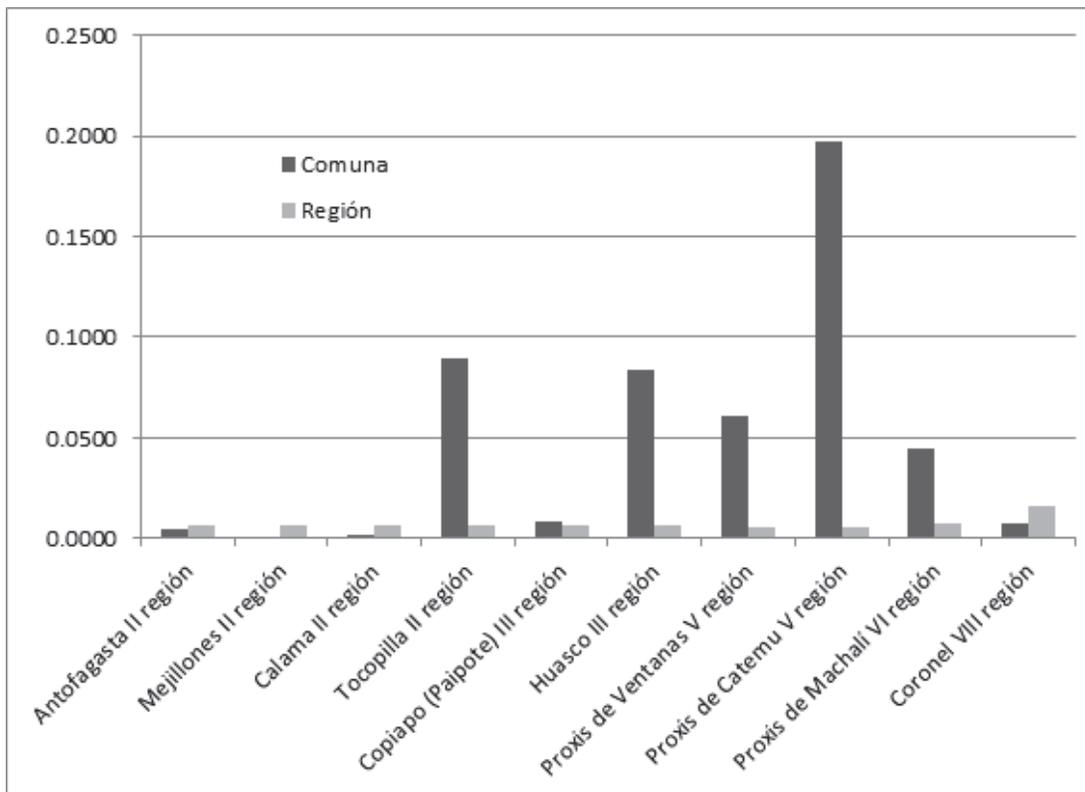
En la Figura 218 se observa que la incidencia promedio de casos de crisis obstructiva bronquial entre los niños (1-14 años) es comparativamente mayor en las regiones de Calama, Huasco, Catemu, Machali y Coronel, respecto de los valores de sus respectivas regiones.

Como es posible observar la mitad de las comunas bajo estudio tienen incidencia de urgencias respiratorias agudas por sobre la incidencia regional en los niños entre 1 y 15 años de edad.



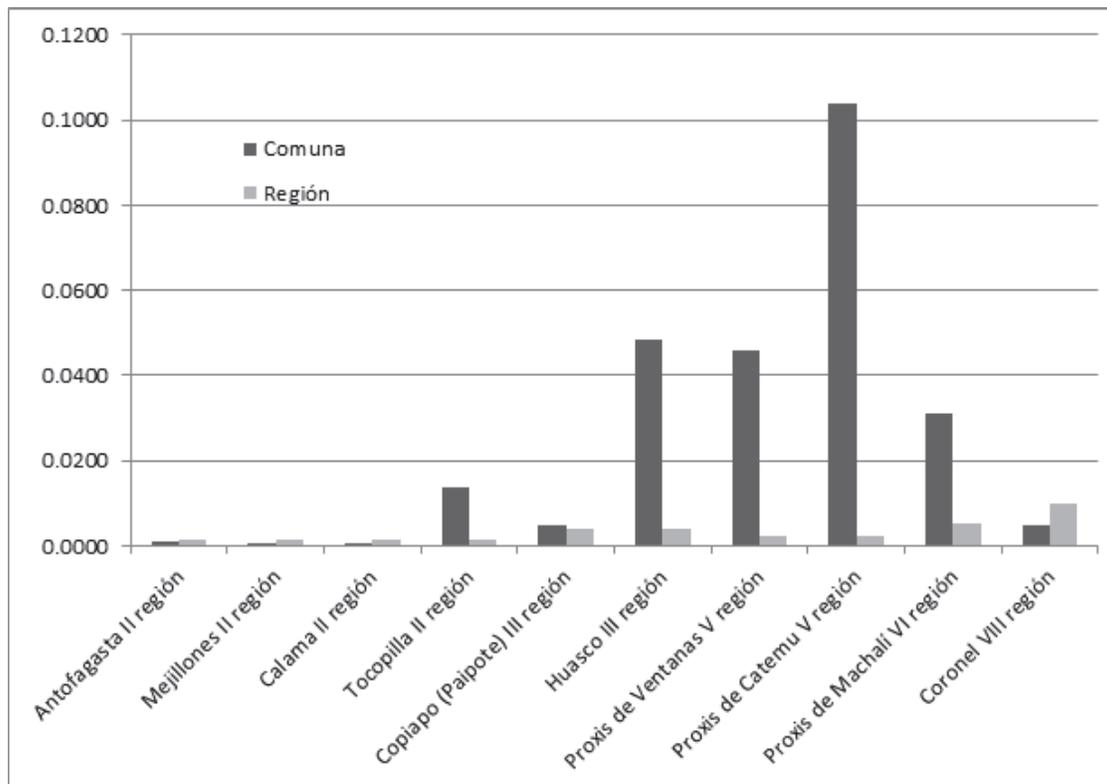
**Figura 218. Comparación de incidencia promedio de urgencias de crisis obstructiva bronquial en comuna y región en niños de 1 a 14 años. Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

En la Figura 219 se observa la misma variable para el grupo etario de 15 a 64 años. Nuevamente se observa la mayor incidencia en las mismas cinco comunas (Calama, Huasco, Catemu, Machali y Coronel). Se destaca como en el grupo etario de adultos trabajadores la incidencia en la comuna de Tocopilla es altísima en comparación con el grupo etario niños (Figura 218) y adultos mayores (Figura 220).



**Figura 219. Incidencia promedio de urgencias de crisis obstructiva bronquial en comuna y región en adultos de 15 a 64 años. Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

Algo similar se observa para la incidencia en los adultos mayores, como muestra la Figura 220.



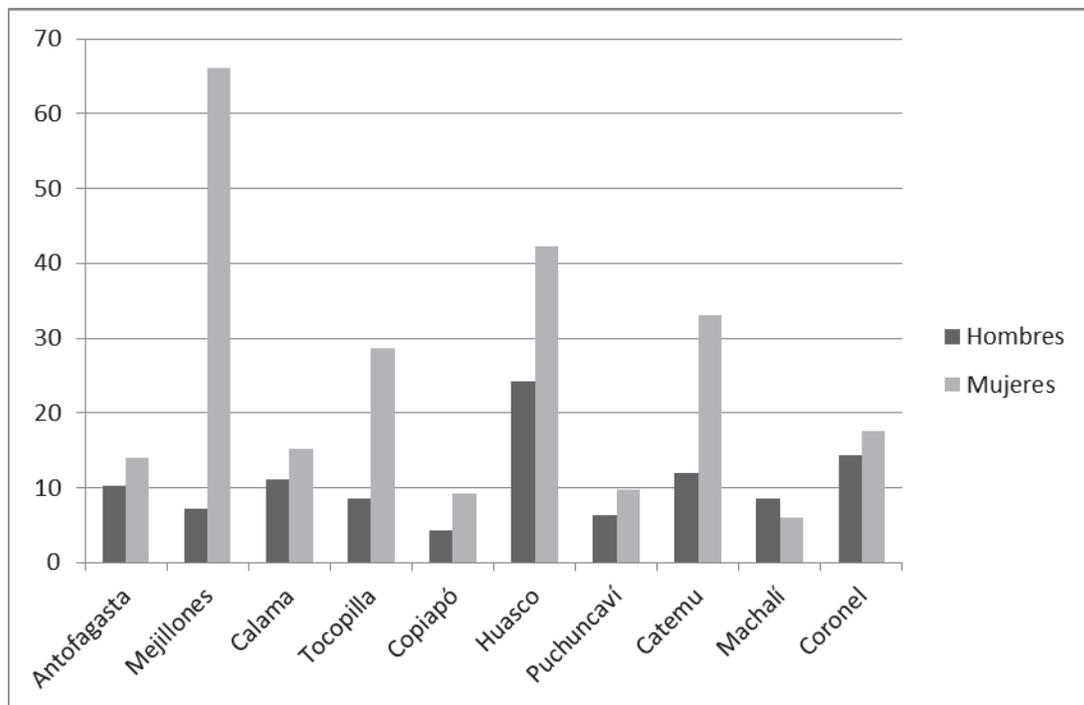
**Figura 220. Comparación de incidencia promedio de urgencias de crisis obstructiva bronquial en comuna y región en adultos mayores de 65 años o más. Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

Hay una cierta coherencia en los resultados de algunas comunas (Huasco, Catemu, Machali y Coronel)) con altos niveles de casos de enfermedades respiratorias respecto del total de la población a través de todos los grupos etarios. Se puede concluir que aunque se presentan algunas diferencias etarias en incidencias de enfermedades respiratorias agudas en las comunas bajo estudio, existe una tendencia clara de que la mitad de las comunas bajo estudio presenten un porcentaje superior que la media regional de incidencias.

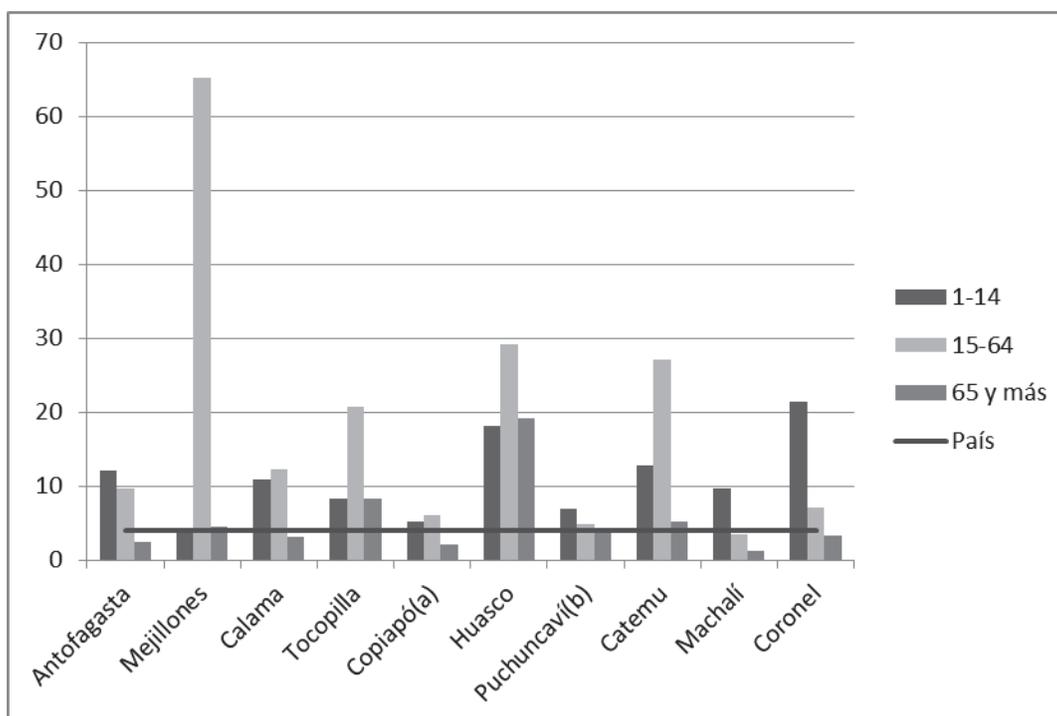
### Hospitalizaciones

En la Figura 221 se muestra la comparación para hombres y mujeres de hospitalizaciones por asma por cada 100.000 habitantes. En este gráfico se pueden apreciar dos puntos relevantes: (i) se presentan muchos más casos de mujeres que hombres en casos crónicos o graves de asma, y (ii) se puede ver el efecto de no usar proxis en Catemu, en el que se aprecian muchos más casos que integrando otras comunas para el caso de las urgencias.

Respecto del primero punto, una hipótesis es que el grupo mujeres es mayoritariamente afectado pues los hombres salen a trabajar fuera del hogar, mientras que las mujeres quedan expuestas a las plumas de SO<sub>2</sub>. Este argumento es reforzado en la Figura 221 que muestra mayor incidencia entre las mujeres que los hombres para casos graves de asma.



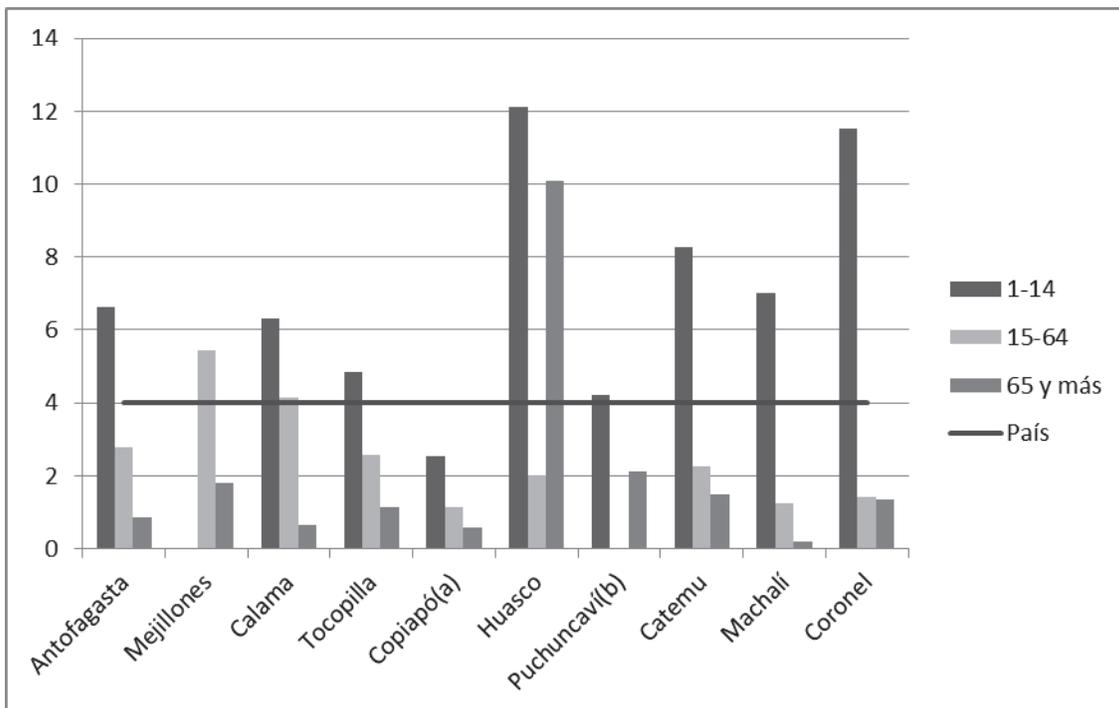
**Figura 221. Hospitalizaciones por Asma por cada 100.000 habitantes para hombres y mujeres. Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**



**Figura 222. Promedio total de Hospitalizaciones por Asma por cada 100 mil habitantes para cada grupo etario (niños, adultos y adultos mayores). Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

En la Figura 222 se observa la comparación por grupo etario y comparado con la media nacional las hospitalizaciones. Claramente resaltan Mejillones, Tocopilla, Huasco y Catemu respecto al número de hospitalizaciones en grupo etario trabajador. Esto nos da luces que mejoras en las condiciones atmosféricas reducirían las hospitalizaciones por asma, y mejorarían las condiciones de los trabajadores que perderían menos días de trabajo por cuadros asmáticos graves. Adicionalmente en 6 de las 10 comunas se supera el promedio del país para el grupo etario de 1 a 14 años, por lo que los niños, uno de los grupos más vulnerables será ampliamente protegido por la normativa en el caso de afecciones asmáticas graves.

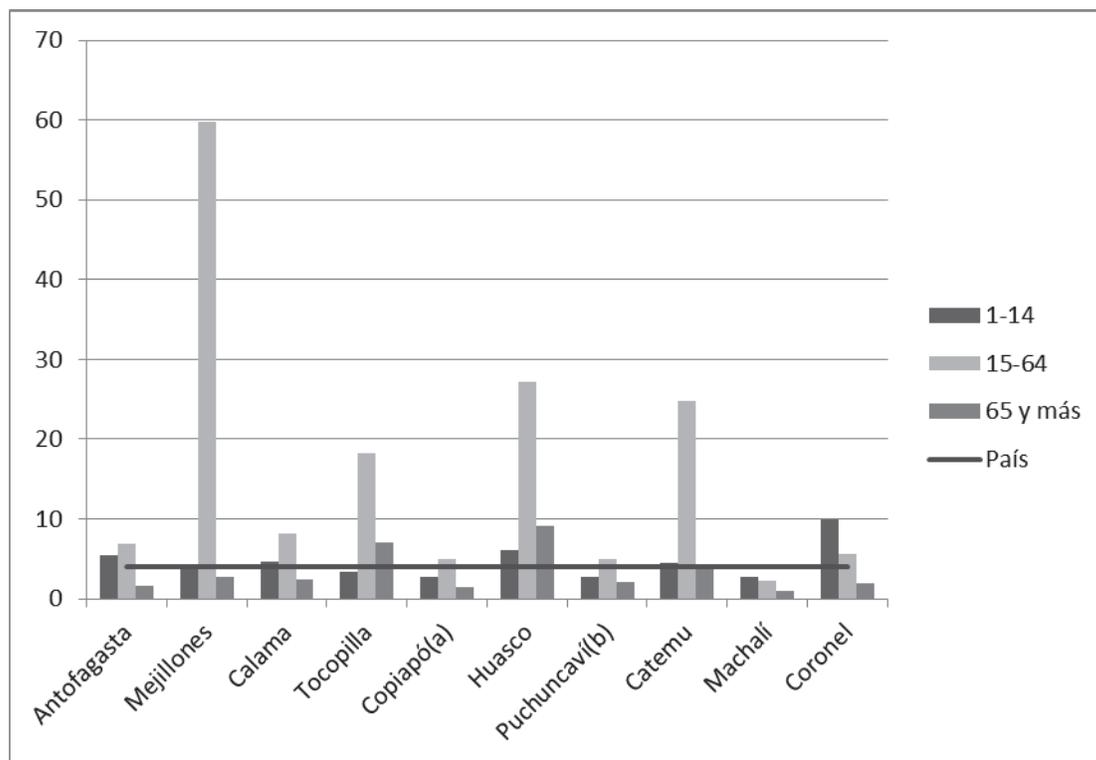
La Figura 223, a continuación, muestra el número de hospitalizaciones por asma. Se observa que comparado con la media nacional para los varones la mayoría del alto número de hospitalizaciones de hombres se concentran en los menores de 15, con excepción de Huasco donde también los adultos mayores presentan un alto índice de hospitalizaciones.



**Figura 223. Promedio total de Hospitalizaciones por Asma para cada grupo etario (hombres). Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

En el caso de las mujeres, como se muestra en la Figura 224, estas tienen un mucho mayor número de hospitalizaciones por cuadros asmáticos. Esto se hace patente en al menos 6 de las 10 comunas bajo estudio: Antofagasta, Mejillones, Calama, Tocopilla, Huasco y Catemu, en donde además se destaca que es la clase etaria trabajadora de 15 a 64 años la más impactada.

Lo anterior nos permite concluir que la normativa, respecto a la población adulta afectara positivamente a uno de los actores más vulnerables como son las mujeres, debido a la exposición al contaminante al que están expuestas.



**Figura 224. Promedio total de Hospitalizaciones por Asma para cada grupo etario (mujeres). Fuente: Elaboración propia a partir de Deis ([www.deis.cl](http://www.deis.cl)), Censo 2002 y 2012, y Encuesta Casen.**

### 5.4.3. Análisis de costo - beneficio

El análisis de costos y beneficios buscó identificar y cuantificar en términos monetarios todos los costos y beneficios generados por la norma.

Sin embargo, el tipo de datos disponibles para la realización de la evaluación es sólo en nivel de promedios, con datos históricos y no definido por las áreas específicas de las localidades, además de estar restringidos a impactos en salud. Con poca información son pocos los beneficios que se lograría monetizar de manera correcta, por lo que gran parte del análisis se debe realizar en el nivel de los impactos físicos.

Tomando en consideración que los beneficios de la norma de  $\text{SO}_2$  se producirán en poblaciones reducidas y emplazadas en lugares de contaminación excepcional, además de restringirse a episodios puntuales, la metodología de un análisis clásico de costos y beneficios, sólo permitió obtener indicaciones generales de impactos de reducir. La base conceptual para la cuantificación de beneficios fue la del daño evitado (es decir valorizar el daño que deja de ocurrir si se instala la norma), mientras que en los costos se puede tomar valores efectivos.

La ausencia de modelación prospectiva y detallada de los impactos asociados de cada concentración sobre la población, exigen hacer supuestos muy significativos sobre la magnitud de los impactos específicos de la norma y sólo permiten enfocarse en aspectos específicos de salud. De ese modo, las estimaciones podrían tener márgenes de error importantes.

Adicionalmente, dada la poca población en las localidades bajo estudio una monetización de impactos positivos en salud siempre serán relativamente “bajos”.

Dado lo anterior, la evaluación de costos y beneficios no permite obtener un resultado único y claro que aporte a identificar el valor social de “eficiencia” de la norma.

Sin embargo, es posible describir a un nivel general (de manera comparativa) cuáles son los tipos de impactos que genera esta norma desde esta perspectiva. Como se observa en la Tabla 80, es posible identificar 14 impactos sobre bienestar individual resultantes de las concentraciones que define la norma: ocho de ellos son impactos directos a las personas (impactos en salud), dos tienen un impacto indirecto sobre el bienestar material y cuatro efectos sobre sistemas.

En la tabla siguiente se hace una distinción según si es posible o no cuantificar estos beneficios.

**Tabla 80. Descripción de Beneficios<sup>63</sup>.**

Ámbito	Cuantificables	No cuantificables
<b>Salud</b>	Atenciones hospitalarias por problemas respiratorios	Mortalidad prematura
		Función pulmonar
		Exacerbación del asma
	Visitas a emergencia por cuadro asmático	Síndrome respiratorio agudo
		Otras visitas respiratorias a la sala de emergencias
<b>Materialidad</b>		Otras atenciones hospitalarias por problemas respiratorios
		Mejoras en la visibilidad
		Daño evitado a materiales
<b>Sistemas Ambientales</b>		Efectos evitados en los ecosistemas acuáticos por acidificación
		Efectos evitados en ecosistemas terrestres por deposición de azufre
		Disminución del efecto invernadero

De los 14 impactos identificados 12 no podrían ser cuantificados por falta de datos disponibles. Aunque un gran número de efectos adversos en la salud han sido asociados con exposición al SO<sub>2</sub>, el análisis de beneficios solo incluye un subconjunto debido a limitaciones de información y tiempo que no permitieron la cuantificación de los otros efectos. En este análisis solamente se tomó los beneficios para aquellos casos con datos para comparar tasas de incidencia de los impactos.

Los dos impactos que podrían ser cuantificados son:

1. visitas a emergencia por cuadro asmático, y
2. atenciones hospitalarias por problemas respiratorios.

En el análisis costo beneficio de la norma de SO<sub>2</sub> de la EPA (2010), se consideró también la cuantificación y monetización de *exacerbación del asma* y del *síndrome respiratorio agudo*, pero en este caso no se hizo por ausencia de datos.

La revisión epidemiológica así como el estudio de EPA (2010) concluyen que en algunos casos existe relación entre altas concentraciones de SO<sub>2</sub> y mortalidad prematura, función pulmonar, visitas a la sala de emergencias por otros problemas respiratorios, entre otros. Sin embargo, para muchos de estos casos es difícil atribuir efectos aislados de SO<sub>2</sub> o funciones dosis-respuesta que permitan hacer cuantificación precisa de los efectos del SO<sub>2</sub>. Debido a que la literatura en esta materia continua desarrollándose, esta decisión puede ser revisada en futuras evaluaciones de beneficios de la reducción de SO<sub>2</sub> atmosférico.

<sup>63</sup> La descripción de los beneficios sigue en general lo planteado en EPA (2010). Se debe notar que un impacto detectado en ese estudio, la reducción en la metilación de mercurio, no fue considerado como beneficio en este caso, ya que no existe suficiente información respecto del mecanismo en que una reducción en SO<sub>2</sub> reduciría la metilación de mercurio presente en el aire para el caso de Chile.

La mayor parte de los beneficios identificados que serán producidos por la norma de SO<sub>2</sub> está relacionada a los daños evitados debido a cuadros asmáticos y respiratorios. El promedio anual de urgencias respiratorias, como el promedio anual de hospitalizaciones por asma son una buena aproximación del impacto respiratorio de SO<sub>2</sub>, ya que como se mostró en el capítulo de epidemiología y toxicología, el impacto en salud del SO<sub>2</sub> es esencialmente respiratorio.

Como ya se comentó, no hay modelación proyectada de los impactos por lo que los beneficios “cuantificables” sólo pueden ser cuantificados esquemáticamente. Es decir, en ausencia de modelación de concentraciones asociadas que permitan cuantificar con precisión el impacto físico, se ha identificado el beneficio potencial de la norma considerando su efecto esperable en salud.

Los beneficios son de distinto tipo, los asociados a enfermedades respiratorias (analizados en función de las urgencias respiratorias y de las hospitalizaciones asmáticas), asociados a más horas de educación, más horas trabajadas, y beneficios al bienestar general. Hay indicios de que los grupos más vulnerables serán protegidos por la normativa, especialmente el grupo etario trabajador (de 15 a 64 años), y los niños y adultos mayores, respecto de enfermedades respiratorias agudas, en particular en las comunas de Tocopilla y Huasco.

Debe notarse que en esta perspectiva, lo relevante es el análisis de los beneficios obtenidos por la norma. La norma en si misma tiene costos que no son muy altos (desarrollo y seguimiento), mientras que los costos efectivos resultantes de la norma dependerán de la forma en que se implementen los procesos de descontaminación y por otra parte, ya fueron absorbidos en buena parte por los otros instrumentos regulatorios.

Es decir, la mayor parte de los costos generados por la normativa están asociados a costos de cumplimiento de las acciones “relacionadas” (norma de emisión de termoeléctricas, de fundiciones y planes de descontaminación). La siguiente tabla muestra la forma en que se distribuyen estos costos.

**Tabla 81. Repartición de costos entre instrumentos normativos.**

Instrumento	Tipos de costos			
	Costos administrativos de cumplimiento	Costos de cumplimiento (técnicas de control, medición)	Costo financieros que se pagan a través de multas (por no cumplimiento)	Costos de vigilancia
Planes de Descontaminación	Si	Si	Si	Si
Normas de emisión de termoeléctricas	Si	Si	Si	No
Normas de emisión de fundiciones de cobre	Si	Si	Si	No
Normas técnicas de	Si	Si	No	No

combustibles para el sector transporte e industrial				
Proyecto que ingresa al SEIA	Si	Si	Si	Si
Sistema de Evaluación Ambiental Estratégico	Si	Si	Si	Si
Estándares de la norma primaria de SO <sub>2</sub>	Si	No	No	Si

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Por lo anterior, se puede argumentar que la norma misma no tendrá costos significativos.

Es importante observar la coherencia normativa entre estos instrumentos. La norma de calidad primaria de SO<sub>2</sub> se relaciona con las normas de termoeléctricas y fundiciones porque estas últimas fijan estándares para la emisión de SO<sub>2</sub>. Así, son estas normas las que se llevarán el peso de la inversión económica que signifique para las empresas de ambas industrias implementar los niveles de emisión que estas normativas imponen. Debido a lo anterior, se puede decir que estas normas “tributan” hacia la norma primaria ya que ayudan a controlar los niveles de SO<sub>2</sub> en forma previa o conjunta a la implementación de la norma primaria.

Asimismo, existen dos instrumentos regulatorios que son tributarios de la norma de calidad primaria de SO<sub>2</sub>: los planes de descontaminación y las evaluaciones de impacto ambiental, pues utilizan los estándares impuestos por la norma primaria para su ejecución.

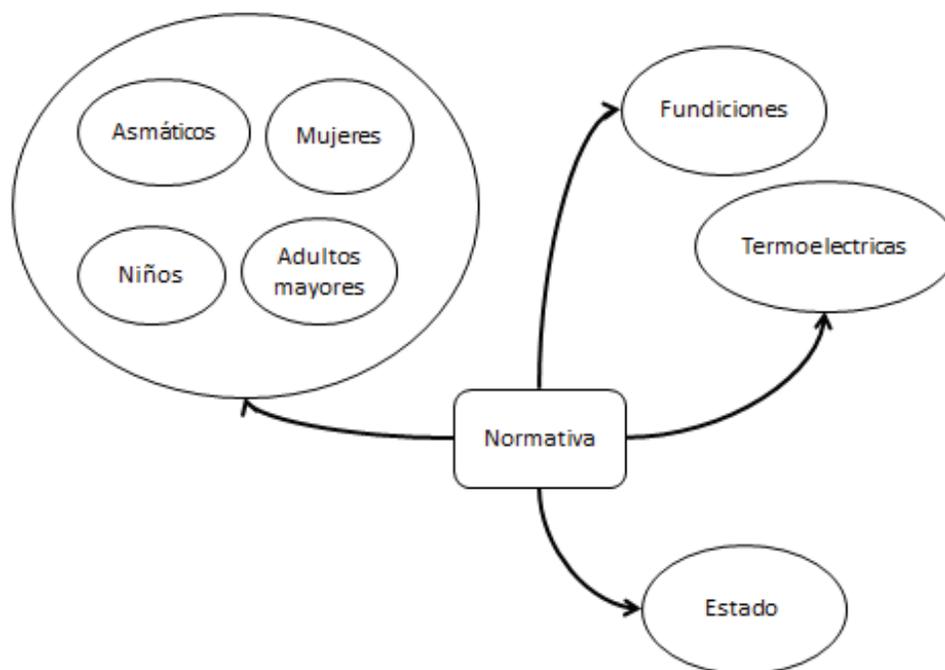
Desde el punto de vista distributivo, los efectos cuantitativos no son claros, por la falta de información ya mencionada, aunque sí es claro que los grupos beneficiados son aquellos económicamente vulnerables.

#### **5.4.4. Análisis socioeconómico**

No es fácil identificar las fuerzas que se verán afectadas por la normativa, al no existir claridad de las restricciones que impone la actual situación sobre el desarrollo de actividades económicas o sociales, sin un conocimiento detallado del tipo de actividades existentes<sup>64</sup>. Sin embargo, sólo es posible indicar que estos deberían ser en términos generales positivos.

<sup>64</sup> Existe información obtenida del Censo del 2002 sobre características generales de las comunas, pero sin encuestas específicas de actividad económica (en general las encuestas económicas y

Si se considera a los principales actores que serán impactados por la normativa (Figura 225) es posible esbozar algunos efectos.



**Figura 225. Actores Impactados por la normativa.**

Los aspectos principales que se han considerado relevantes para efectos de este análisis serán el potencial para el desarrollo de actividades económicas, para ampliar las posibilidades de trabajo y para mejorar las condiciones de bienestar social.

En el ámbito de las actividades económicas, se considera que será positiva al permitir más actividades económicas locales, en algunos casos podrá haber un impacto claro en actividades como la agricultura o el turismo, donde la norma tendrá beneficios sustantivos en el mejoramiento de las condiciones locales. Para las empresas emisoras, los costos que se derivan posteriormente en el proceso de implementación tienen una importante contrapartida al hacer más sostenible su funcionamiento en el largo plazo, mejorando las relaciones con la comunidad y con menor incertidumbre frente a cambios regulatorios futuros. Adicionalmente, posibles mejoras en las propias condiciones laborales y en sus costos generales por la ganancia de eficiencia que puede estar

---

sociales en Chile no se realizan a nivel comunal) no es posible mayor análisis. La información disponible muestra que, en términos de condiciones materiales, empleo y pobreza las condiciones de las comunas de interés no son tan distintos del país o de la región. Cabe notar que la información al estar considerada por comuna no apunta directamente a aquellos efectivamente afectados.

asociada a mejores prácticas ambientales. Sin embargo, la tendencia de estas fuerzas no es clara.

En cuanto a las posibilidades laborales, se debe sumar el hecho de que existirían más actividades económicas, con el hecho de que las mujeres son potencialmente más beneficiadas directa e indirectamente (por las atenciones a niños), abriendo mayores oportunidades laborales.

En cuanto al bienestar social, este debe considerarse de manera importante en términos de justicia ambiental (el tratamiento equitativo y un involucramiento significativo, de todas las personas sin importar raza, color, nacionalidad, o ingreso, con respecto con respecto al desarrollo, implementación y ejecución de leyes, normativas y políticas ambientales<sup>65 66</sup>). El concepto de equidad es clave y está en el programa de gobierno, por lo que se considera un elemento sustancial para analizar la norma.

Como los grupos más vulnerables son los más afectados por el SO<sub>2</sub>, la norma genera una base de equidad importante. Como se mostró anteriormente en el análisis de efectos en la salud, mujeres, niños, asmáticos y adultos mayores son los grupos más impactados por los efectos respiratorios del SO<sub>2</sub>, y por ello los grupos más sensibles son los más beneficiados por la norma de calidad primaria.

Para los grupos más vulnerables la norma tiene un efecto dinámico favorable pues mejora sus condiciones de vida permitiéndole acceso a más días de trabajo o estudio y también a un mayor bienestar general. Permite a estos grupos ser menos desfavorecidos frente al resto. Aunque los adultos en general no dejan de ser afectados por problemas respiratorios, son las mujeres las que sufren mayormente de casos asmáticos graves (con hospitalización), siendo el grupo más impactado entre los adultos.

Además, la norma permite revitalizar ciertas zonas generando indirectamente una mayor equidad social.

El sentido de justicia de las condiciones sociales se vería reforzado dado que actualmente el impacto por SO<sub>2</sub> es ciertas localidades específicas mientras que los

---

<sup>65</sup> Guidelines for Preparing Economic Analyses. Chapter 10. EPA, Mayo, 2014.

<sup>66</sup> Algunos de los criterios más importantes para un análisis de justicia ambiental son: identificación de población de minorías y comunidades vulnerables, identificación de población de bajos recursos, e identificación de comunidad con una carga ambiental desproporcionadamente alta. Para un análisis completo, además es necesario recolectar información demográfica, información del impacto, de la exposición al contaminante, y de datos de salud, para posteriormente desarrollar un análisis que involucra las siguientes etapas: (1) Delinear los límites de la comunidad bajo estudio y conducir un estudio preliminar de análisis de carga ambiental. (2) Comparar la demografía de la comunidad a una referencia estadística apropiada. (3) Determinar si la comunidad está compuesta de minorías o población de bajos recursos. (4) Desarrollar un perfil comprensivo de carga ambiental para cualquier comunidad que es minoría o población de escasos recursos. (5) Analizar si la carga es desproporcionalmente alta o adversa. (6) Reportar los resultados (Guidelines for Conducting Environmental Justice Analyses. EPA (<http://www.epa.gov/region2/ej/guidelines.htm>)).

beneficios de las actividades económicas no están directamente ligados a la comunidad.

Si se desglosa los costos y beneficios por tipo de actor, se ve claramente como esta norma contribuye a mayor equidad en el ámbito local.

**Tabla 82. Costos y beneficios identificados para actores relevantes.**

<b>Actor</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Costos</b>
<i>Población</i>		
Niños	Más días de educación para niños	
	Más días de trabajo para padres	
	Mejores condiciones de vida para niños con problemas respiratorios	
Adultos mayores	Mejores condiciones de vida para adultos mayores con problemas respiratorios	
Asmáticos	Más días de trabajo para enfermos asmáticos	
	Mejores condiciones de vida para asmáticos	
Mujeres	Más días de trabajo para mujeres jefas de hogar	
	Mejores condiciones de vida para mujeres con problemas respiratorios	
<i>Industrias</i>		
Termoeléctricas		Implementación de la norma de termoeléctricas para SO <sub>2</sub>
		Implementación de la puesta en marcha de Plan de Descontaminación
Fundiciones		Implementación de la norma de fundiciones para SO <sub>2</sub>
		Implementación de la puesta en marcha de Plan de Descontaminación
<i>Estado</i>		
Servicios de Salud	Menores atenciones hospitalarias	
Ministerio del Medio Ambiente		Costos en Fiscalización
		Costos de tramitación de la normativa

#### 5.4.5. Conclusiones: Aspectos destacados

El presente estudio entrega elementos importante para la toma de decisión respecto de la norma de SO<sub>2</sub>, pese a las limitaciones de información y las características particulares de una norma que se inserta en el conjunto de otros instrumentos normativos.

Los aspectos destacados del estudio de impactos económicos y sociales de la norma de SO<sub>2</sub>, tanto considerando el enfoque de costos y beneficios como el socioeconómico, son los siguientes:

- No es posible comparar con precisión significativa los costos y beneficios de la normativa, dada la poca información disponible que es útil para estos efectos, pero es esperable que dada las “pequeñas” cantidades de personas afectadas, el balance de costos y beneficios no sea muy positivo o incluso sea negativo.
- No obstante, hay evidentes beneficios positivos para la población por la norma, fundamentalmente en salud.
- Los grupos beneficiados serán en general grupos vulnerables; tendrán más opciones de trabajo y laborales
- Hay mejoras potenciales en la relación entre empresa y comunidad y también en cuanto a la confianza y valoración del Estado, al entregar una herramienta normativa para regular un contaminante.
- Hay posibilidad de desarrollo positivo de largo plazo (más sustentable) y mayor diversificación productiva por mejores condiciones ambientales (abre nuevas opciones de desarrollo).
- Mejora la coherencia normativa, al permitir igualar las condiciones de protección para grupos que están afectados por diferentes contaminantes.
- Habrá ganancias ambientales en el territorio que actualmente está libre de contaminación por SO<sub>2</sub>, ya que la norma de calidad evitará impactos futuros graves<sup>67</sup>.
- La norma aumenta la equidad frente a la contaminación ambiental (justicia ambiental) que es básica para una sociedad democrática.

En cuanto a las opciones normativas, el presente análisis considera que, en general, lo medular es la existencia de la norma más que su valor específico. No obstante, hay razones para apoyar la propuesta intermedia desde varias perspectivas; a saber:

---

<sup>67</sup> Las ganancias ambientales se entiende en este contexto como externalidades positivas de una acción que no quedan directamente reflejadas en el impacto económico y social de la acción. Las ganancias ambientales no están internalizadas en el conteo de costos y beneficios clásicos.

1. Desde la perspectiva territorial la norma intermedia, al poner una restricción significativa a las emisiones en períodos cortos, evita las llamadas “zonas de sacrificio”, pero, al mismo tiempo, no es tan estricta como para incentivar la dispersión excesiva de las fuentes contaminantes en el territorio, protegiendo zonas que hoy no están sujetas a este contaminante.
2. Desde la perspectiva de salud, en particular desde la epidemiología, el escenario normativo mínimo de  $197 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , no tiene efectos médicos evidentes en comparación con la norma media de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , por lo que desde el punto de vista médico ambas son equivalentes. Por otro lado, y desde el punto de vista toxicológico, el escenario normativo máximo de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , está demasiado cerca del AEGL-1, de  $520 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , que se propone como el primer nivel de gestión (alerta ambiental). Es por ello que no sería una herramienta efectiva para mantener a la población protegida, sin llegar con facilidad a la cantidad de  $520 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , concentración que presenta impacto a la salud de la población.
3. Desde la perspectiva institucional, el escenario normativo mínimo ( $197 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ) es de difícil gestión. Una normativa demasiado estricta puede presentar problemas en su cumplimiento con mayor probabilidad de incumplimiento, lo que hace perder credibilidad en la población acerca de la eficacia de la norma y de la capacidad del Estado de hacerla cumplir. Por otro lado, el escenario normativo máximo ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ), al estar tan cerca del AEGL-1, hace poco creíble el interés del Estado en la protección de los grupos más vulnerables, ya que estos quedarían expuestos a un nivel de contaminación muy cercano al primer nivel de cuidado.
4. Finalmente, en términos de coherencia normativa, los escenarios de  $197$  y  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  dificultan el objetivo global de un desarrollo sustentable que genere crecimiento económico, equidad y calidad de vida. El escenario demasiado restrictivo complica los Planes de Descontaminación y dificulta la entrada de nuevos proyectos a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. El escenario más laxo de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , por otro lado, puede relajar la gestión exponiendo a más casos extremos a la población.

#### 5.4.6. Recomendaciones

El enfoque de costos y beneficios no solamente no se pudo aplicar de manera completa por la ausencia de información adecuada, sino que además difícilmente puede reflejar las implicancias de una norma, que más que un “proyecto”, es un marco habilitante para el desarrollo de actividades productivas con posibilidad de generar  $\text{SO}_2$ .

Si la autoridad eligiera la aproximación del Costo-Beneficio para su decisión, consideraciones tan importantes como la justicia territorial ambiental serían poco relevantes (debido a que, muy probablemente, habría ganancias económicas negativas, por la baja proporción de personas beneficiadas por la normativa en las localidades bajo estudio. Tampoco se podría tomar en cuenta el marco de incertidumbre general que se vincula con la norma.

La aproximación socioeconómica permite incorporar en la decisión objetivos como inclusión, justicia ambiental, cohesión social y equidad, conceptos importantes para un desarrollo sustentable, y considerado en las estrategias gubernamentales actuales. Este enfoque da espacio a visiones que exploren posibilidades más vastas de estas normativas.

Bajo esta perspectiva, se recomienda adoptar la norma de  $SO_2$  del escenario intermedio al contribuir no sólo a más oportunidades de actividad económica y laboral, sino además a una mejor gestión, eficiencia y equidad territorial, mayor justicia ambiental y cohesión social (confianza en las instituciones).