

Sra.  
Carolina Schmidt,  
Ministra del Medio Ambiente  
Presente

30 de abril de 2020

En el contexto del proceso de revisión y actualización de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas (NECT) Decreto Supremo N° 13 de 2011 y del Decreto Supremo N°38 de 2013, iniciada recientemente por el Ministerio de Medio Ambiente, en cumplimiento del Dictamen N° 2737 del año 2020, de la Contraloría General de la República, que ordenó al Ministerio comenzar lo antes posible la revisión de dicha norma, cuya actualización debió ser iniciada el año 2016, tal como establece la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Dado que dicho proceso de revisión de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas, ha establecido hasta el 30 de Abril del 2020 para el envío, por parte de organizaciones, de antecedentes que se considere relevantes de considerar en el proceso de revisión, como asimismo de incorporar en el expediente del proceso de revisión que dará origen a la actualización de la NECT.

En representación de la Fundación Sociedades Sustentables, persona jurídica que desarrolla desde hace mas de dos décadas el Programa Chile Sustentable, venimos mediante la presente carta, a manifestar nuestro interés en aportar antecedentes para la revisión y discusiones tendientes al mejoramiento de los estándares ambientales, hoy contenidos en la norma vigente, apuntando específicamente a que este proceso de actualización incluya:

1. Un estándar más exigente para emisiones de material particulado (MP), dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y mercurio (Hg) ajustándolos a los parámetros de emisiones para termoeléctricas que establece la Unión Europea; y en ningún caso menos exigentes que los estándares de calidad de aire recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Lo anterior además considerando la existencia de tecnología y la factibilidad técnica de incluir nuevos sistemas de control y captura de contaminantes. Al respecto, la Guía del IFC sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad para las Plantas de Energía Térmica del 2008, para el caso de MP, ya estableció para ese año niveles de 50mg/m<sup>3</sup>N para plantas existentes y de 30 mg/m<sup>3</sup>N para plantas nuevas. Tecnológicamente, sin embargo, al año 2020 las tecnologías de control de emisiones para material particulado garantizan niveles de 10mg/m<sup>3</sup>N. Por esta razón el estándar para las emisiones de MP debiera ser de 30mg/m<sup>3</sup>N como máximo para las centrales termoeléctricas existentes.
2. Incluir estándares de emisión para metales pesados, tales como vanadio (V), níquel (Ni) y plomo (Pb), que son cancerígenos, y que en el proceso de elaboración de la NECT (2010), no fueron tomados en cuenta, pero que sí están presentes en otras

regulaciones vigentes, tales como la Norma de Emisión para Incineración y Co-incineración (Decreto Supremo N° 29)

3. Incluir estándares de emisión para los acopios de carbón, combustible sólido que además de impactar el medio ambiente marino debido a los frecuentes derramamientos en las costas de las comunas de Mejillones, Tocopilla, Huasco, Quintero y Coronel, hoy denominadas Zonas de Sacrificio; impacta gravemente la calidad del aire debido a las emisiones atmosféricas de los acopios de dicho combustible, que en la mayoría de las comunas no está confinado, pese a localizarse próximo a poblaciones .
4. Incluir estándares para los depósitos de cenizas considerando los contaminantes de las cenizas, los que incluyen entre otros compuestos de óxidos de Silicio (SiO<sub>2</sub>), óxidos de Aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxidos de hierro, (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
5. Incluir estándares para emisiones de CO<sub>2</sub>, considerando que con el impuesto verde ya se cuenta con el sistema monitoreo y verificación de las emisiones de este contaminante, no obstante la regulación ambiental vigente no incluye estándares de emisión para este contaminante.

Para fundamentar los cinco puntos anteriormente mencionados, para la actualización y mejora del estándar de emisión vigente en la NCTE, adjuntamos:

- Anexo 1: Artículo científico. Ruiz Pablo, Arias Nelson & Pardo Sandra. 2016. "Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study"
- Anexo 2: Artículo científico. Cortes Sandra, Yohannessen Karla, Tellerias Lydia & Ahumada Ericka. Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional?
- Anexo 3. Estudio Departamento de Salud Pública UC. "Daños en salud asociados a la exposición a centrales termoeléctricas a carbón en la zona norte de Chile: Análisis de datos secundarios"
- Anexo 4. Estudio Greenpeace, KAS Ingenieros y Chile Sustentable. Impactos de las emisiones a carbón en la calidad del aire en las comunas de Huasco y Puchuncaví
- Anexo 5. Decreto Supremo 29. Norma de Emisión para incineración, coincineración y procesamiento. Ministerio de Medio Ambiente
- Anexo 6. Observaciones realizadas por nuestra Fundación Chile Sustentable, al anteproyecto de la Norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas de 2009.



- Anexo 7. NDC de Chile al 2020 donde en el punto 3.4 sobre contaminantes de vida corta se compromete a establecer norma de emisión para las fuentes industriales de Chile.
- Anexo 8. Anuncio de Piñera para terminar las Zonas de Sacrificio.
- Anexo 9. Informe PDI de 2014 que confirma la presencia de metales pesados en cenizas de carbón de centrales termoeléctricas de Coronel

Atentamente,

Sara Larrain Ruiz-Tagle

Rut :5.697.262-5

Directora Ejecutiva y Representante Legal

Fundación Sociedades Sustentables

Rut: 75.056.200-0

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/301592072>

# Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study

Article in *Environment international* · April 2016

Impact Factor: 5.56 · DOI: 10.1016/j.envint.2016.03.036

---

READS

111

8 authors, including:



[Pablo Ruiz-Rudolph](#)

University of Chile

29 PUBLICATIONS 750 CITATIONS

SEE PROFILE

1                   **A Manuscript Submitted to Environment International**  
2                   **“Impact of Large Industrial Emission Sources on Mortality and**  
3                   **Morbidity in Chile: A Small-Areas Study”**

4

5                   Pablo Ruiz-Rudolph<sup>a,\*</sup>, Nelson Arias<sup>a,b</sup>, Sandra Pardo<sup>a,c</sup>, Marianne Meyer<sup>a</sup>,  
6                   Stephanie Mesías<sup>a</sup>, Claudio Galleguillos<sup>a</sup>, Irene Schiattino<sup>a</sup>, Luis Gutiérrez<sup>a</sup>

7

8                   <sup>a</sup>Instituto de Salud Poblacional, Facultad de Medicina, Universidad de Chile,  
9                   Independencia 939, Independencia, Santiago, Chile

10                   <sup>b</sup>Departamento de Salud Pública, Universidad de Caldas,

11                   Carrera 25 N° 48-56, Manizales, Colombia

12                   <sup>c</sup>Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Chile, Pedro de  
13                   Valdivia 641, Providencia, Santiago, Chile

14                   \*Corresponding author

15

16                   **Corresponding author:**

17                   Pablo Ruiz-Rudolph

18                   Address: Instituto de Salud Poblacional, Facultad de Medicina, Universidad de  
19                   Chile, Independencia 939, Independencia, Santiago, Chile

20                   Phone: 56-22-978-6379

21                   Email: pabloruiz@med.uchile.cl

22

## 23 **Abstract**

24 Chile suffers significant pollution from large industrial emitters associated with the  
25 mining, metal processing, paper production, and energy industries. The aim of this  
26 research was to determine whether the presence of large industrial facilities (i.e.  
27 coal- and oil-fired power plants, pulp and paper mills, mining facilities, and  
28 smelters) affects mortality and morbidity rates in Chile. For this, we conducted an  
29 ecological study that used Chilean communes as small-area observation units to  
30 assess mortality and morbidity. Public databases provided information on large  
31 pollution sources relevant to Chile. The large sources studied were oil- and coal-  
32 fired power plants, copper smelters, pulp and paper mills, and large mining  
33 facilities. Large sources were filtered by first year of production, type of process,  
34 and size. Mortality and morbidity data were acquired from public national  
35 databases, with morbidity being estimated from hospitalization records. Cause-  
36 specific rates were calculated for the main outcomes: cardiovascular, respiratory,  
37 cancer; and other more specific health outcomes. The impact of the large pollution  
38 sources was estimated using Bayesian models that included spatial correlation,  
39 overdispersion, and other covariates. Large and significant increases in health  
40 risks (around 20%–100%) were found for communes with power plants and  
41 smelters for total, cardiovascular, respiratory, all-cancer, and lung cancer mortality.  
42 Higher hospitalization rates for cardiovascular disease, respiratory disease, cancer,  
43 and pneumonia (20–100%) were also found for communes with power plants and  
44 smelters. The impacts were larger for men than women in terms of both mortality  
45 and hospitalizations. The impacts were also larger when the sources were

46 analyzed as continuous (production volume) rather than dichotomous  
47 (presence/absence) variables. In conclusion, significantly higher rates of total  
48 cardiovascular, respiratory, all-cancer and lung cancer mortality and  
49 cardiovascular, respiratory, cancer and pneumonia hospitalizations were observed  
50 in communes with power plants and smelters.

51

52 **Keywords**

53 cardiovascular; respiratory; cancer; power plants; copper smelter; mining facilities

54

55 **Abbreviations**

56 BYM: Besag, York, and Mollie

57 CAR: conditional autoregressive model

58 ICD-10: International Classification of Diseases, version 10

59 km<sup>2</sup>: square kilometers

60 NO<sub>x</sub>: nitrogen oxides

61 MW: megawatts

62 OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

63 PM<sub>2.5</sub>: particulate matter smaller than 2.5 micrometers

64 PM<sub>10</sub>: particulate matter smaller than 10 micrometers

65 SO<sub>2</sub>: sulfur dioxide

66 UNDP: United Nations Development Programme

67 HDI: Human Development Index

68 SES: Socioeconomic status

69 SMR: Standardized mortality/morbidity ratios

70 \$USD: US dollars

71 US: United States

72 WinBUGS: Windows Bayesian inference Using Gibbs Sampling

73

## 74 **Acknowledgments**

75           This work was funded by Fondo Nacional de Investigación en Salud  
76 (FONIS) grant SA12I2046. We would like to thank our team of project reviewers,  
77 Dr. Gloria Icaza, Dr. María Luisa Garmendia, and Dr. Garritt Page, for their  
78 continuous support and feedback. We thank Claudia Ortega for her assistance in  
79 statistical code development. Finally, we sincerely thank Carmen Gloria Contreras  
80 and Daniela Caimanque at the Ministry of the Environment for their help with data  
81 collection and advise during the study.

82

## 83 **Figure Captions**

84 Figure 1. Map of Chile and location of selected facilities

85

## 86 **Supplemental Tables**

87 Table S 1. Description of power plants selected

88 Table S 2. Description of pulp and paper mills selected

89 Table S 3. Description of mining facilities selected

90 Table S 4. Description of copper smelters selected

91 Table S 5. Summary of previous ecological studies.

## 92 **1 Introduction**

93 Chile is a medium-sized country located in South America that has  
94 experienced substantial economic growth over the past several decades, resulting  
95 in a transition from a middle-income, developing nation to a high-income, OECD  
96 nation with a gross domestic product of \$USD 14,581 by 2014 (World Bank, 2014).  
97 Its development strategy has focused on exploiting natural resources, especially  
98 copper mining, aquaculture, forestry, agriculture, and, more recently, a network of  
99 services in the major cities (Banco Central de Chile, 2015). This economic  
100 development has led to the installation of several large-scale industrial facilities  
101 across the country, including mines, smelters, pulp and paper mills, and a network  
102 of power plants, including coal- and oil-fired plants, to supply energy for industrial  
103 operations.

104 These large industrial facilities are known to emit large amounts of  
105 potentially toxic substances, into both the occupational environment (i.e. inside the  
106 facilities) and the general environment. These substances include known toxics  
107 such as criteria pollutants (*i.e.* particulate matter, nitrogen oxides, sulfur dioxide),  
108 metals, and carcinogens, as well as substances of unknown toxicity. These  
109 pollutants are released into the air, water, and solid waste and through dispersion  
110 processes can reach the population and pose a risk to human health.

111 Because these large industrial facilities present the risk of exposure to  
112 nearby populations, government and other organizations have developed public  
113 health agendas aimed at protecting the population. Efforts include air pollution  
114 regulations, emission permits, toxics release inventories, and occupational

115 standards. However, there are several reasons to suspect that these regulations  
116 might not be entirely effective. First, facilities may emit several pollutants at the  
117 same time, potentially creating synergistic effects. Second, many of the pollutants  
118 released might be unknown or untested. For instance, a report to the US congress  
119 assessed that a large fraction of chemical substances has not been tested for  
120 toxicity (United States Government Accountability Office, 2005). Third, many of the  
121 pollutants have linear exposure-response functions (including most carcinogens  
122 and air pollutants such as PM<sub>2.5</sub> and ozone), meaning that there are no safe  
123 exposure levels, but risk levels considered "as low as practically acceptable" by the  
124 authorities. As environmental standards are usually set using cost-benefit criteria  
125 (Arrow et al., 1996), the population might be exposed to pollution that indeed poses  
126 health risks, albeit at levels deemed acceptable by authorities. Hence, there are  
127 likely risks associated with these known and unknown substances. Finally, there is  
128 always the chance that facilities fail to comply with the regulations, leading to  
129 exposure above limits or standards both for workers inside the facilities and for the  
130 general population.

131         Given the above, as well as concern on the part of communities residing  
132 near facilities, there have been efforts to better assess the overall public health  
133 impact of such large industrial facilities. Efforts to scientifically assess this impact  
134 have included ecological studies using small-areas, in which mortality and  
135 morbidity rates are compared for zones near the facilities versus more distant  
136 ones. Methods range from simple Poisson regressions to more modern Bayesian  
137 spatial models. To date, most research has been conducted in the United Kingdom  
138 (Dolk et al., 1999; Elliott et al., 1992; Elliott et al., 1996; [Fielder et al., 2000](#); Sans et

139 al., 1995; Wilkinson et al., 1999), Italy ([Bilancia and Fedespina, 2009](#); Federico et  
140 al., 2010; [Michelozzi et al., 1998](#); Parodi et al., 2004; Parodi et al., 2005), and more  
141 recently in Spain (Cambra et al., 2011; Cirera et al., 2013; Fernandez-Navarro et  
142 al., 2012; Garcia-Perez et al., 2013; Garcia-Perez et al., 2015; Garcia-Perez et al.,  
143 2010a; [Garcia-Perez et al., 2010b](#); [Garcia-Perez et al., 2012](#); Garcia-Perez et al.,  
144 2009; Lopez-Abente et al., 2006; Lopez-Abente et al., 2012a; Lopez-Abente et al.,  
145 2012b; Monge-Corella et al., 2008; Prieto et al., 2007; Ramis et al., 2011; Ramis et  
146 al., 2012; [Ramis et al., 2009](#)).

147         In Chile, major concerns include the potential impact of oil- and coal-fired  
148 power plants, due to their emissions of particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), sulfur  
149 dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxides (NO<sub>x</sub>), and metals such as mercury and arsenic;  
150 pulp and paper mills, due to their emissions of particulate matter, SO<sub>2</sub>, sulfur  
151 compounds, and many organic carcinogenic such as dioxins and other  
152 halogenated (or chlorinated) compounds; and finally, large mining facilities and  
153 smelters, due to their emissions of particulate matter, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and metals  
154 including arsenic and lead. Because of the nature and diversity of emitted  
155 pollutants, several health impacts are expected including cancer in several sites  
156 and cardiovascular and pulmonary diseases. The literature indicates that small-  
157 area ecological designs have only partially addressed the effects of large industrial  
158 facilities, with studies typically focused on mortality rather than morbidity  
159 (hospitalizations) and cancer rather than a wide scope of disease burden indicators  
160 such as cardiovascular or pulmonary outcomes ([Bilancia and Fedespina, 2009](#);  
161 Cambra et al., 2011; [Fernandez-Navarro et al., 2012](#); Garcia-Perez et al., 2015;  
162 Garcia-Perez et al., 2010a; [Garcia-Perez et al., 2010b](#); [Garcia-Perez et al., 2012](#);

163 Garcia-Perez et al., 2009; Liu et al., 2012; Lopez-Abente et al., 2012a; Lopez-  
164 [Abente et al., 2012b](#); Monge-Corella et al., 2008; Parodi et al., 2004; Prieto et al.,  
165 2007; Ramis et al., 2011; [Ramis et al., 2012](#); Ramis et al., 2009).

166 Previous studies in Chile have attempted to describe the spatial distribution  
167 of specific mortality outcomes using small-areas (Icaza G, 2006; Icaza G, 2013;  
168 Icaza et al., 2007), but no study to date has attempted to explore a specific  
169 hypothesis. Here we use a small-areas ecological study to determine whether the  
170 presence of large industrial facilities (i.e. coal- and oil-fired power plants, pulp and  
171 paper mills, mining facilities, and smelters) is associated with higher mortality and  
172 morbidity rates.

173

## 174 **2 Materials and methods**

### 175 **2.1 Study site and design**

176 Chile is a long and narrow mid-sized country located in southwestern South  
177 America (Figure 1). It has a total population of 17 million inhabitants and is divided  
178 administratively into 15 regions and 346 communes. Communes are the smallest  
179 units of local administration, with mayors elected by popular vote. Median  
180 commune population and surface area is 17,800 inhabitants and 633 km<sup>2</sup>,  
181 respectively, although the range of figures varies widely (p25%-p75%: 9,158-  
182 51,043 inhabitants and 251-1658 km<sup>2</sup>). Geographically, continental Chile extends  
183 from the parallels 17°29' in the north to 56°32' in the south, with a total length of  
184 4200 km and an average width of about 200 km. Chile covers three climate zones,  
185 with the northern zone being arid, the central zone having a mild climate suitable

186 for agriculture, and the southern zone being cold and humid, adequate for  
187 agriculture, livestock, and forestry. Regarding industrial facilities, large mining and  
188 metal processing facilities are located throughout the country, especially in the  
189 north. In the south, there are numerous forest plantations, with forest products  
190 processed to paper and other products in large pulp and paper mills. A network of  
191 power plants throughout the country provides energy to these large industrial  
192 operations, many of which are fueled by coal or oil.

193         To study the overall public health impact of these large industrial sources,  
194 an ecological study design was selected, using the commune as the small-area  
195 unit of observation. The ecological study design was selected because the health  
196 data were available at the commune level, which are the smallest units of local  
197 administration in Chile, and allows comparing zones with and without facilities as  
198 explained in the introduction. Because of their public health impact, we studied a  
199 set of ten specific health outcomes likely to be associated with the presence of  
200 large emission sources (see introduction), ranging from more general indicators  
201 such as total mortality and cancer, cardiovascular and respiratory diseases, as well  
202 as more specific outcomes, such as lung cancer and myocardial infarction for  
203 mortality, and leukemia and pneumonia for hospitalizations. The list of Outcomes  
204 studied are shown in Table 1. For each commune, data on mortality,  
205 hospitalizations, and population were aggregated for the 2000–2010 period, as  
206 Chilean population in some communes is very small, leading to observed cases  
207 per year of zero or close to zero, and therefore this aggregation was necessary in  
208 order to obtain robust and stable results.

209 Table 1. Health outcomes studied.

Type of outcome	Specific outcome (ICD codes)
Mortality	All deaths not due to external causes (A00–Q99)
	Cardiovascular (all I)
	Respiratory (all J)
	All cancers (all C)
	Lung cancer (trachea, bronchus, and lung, C33–C34)
Hospitalization	Myocardial infarction (I20–I24)
	Cardiovascular (all I)
	Respiratory (all J)
	All cancers (all C)
	Leukemia (C81–85; C88; C90–C96)
	Pneumonia (J12–J18)

210

211           Regarding exposure, we studied plants associated with industrial processes  
212 known to be most polluting and relevant for Chile, as explained in the introduction  
213 (*i.e.* coal- and oil-fired power plants, pulp and paper mills, mining facilities, and  
214 smelters). From them, we attempted to identify those facilities most likely to  
215 produce health impacts. For this, three selection filters were applied for all: i) first  
216 year of production, ii) type of process, and iii) facility size. Facilities were selected if  
217 they began production in year 2000, or earlier, with the rationale that this is a good  
218 trade-off between allowing time for chronic effects to take place (including latency  
219 factors) and acute impacts on the surrounding populations as all plants remain  
220 operating till year 2010. For type of process we identify the facilities most likely to  
221 impact nearby populations (*i.e.*, selecting the processes most likely to cause  
222 pollution), while for facility size (*i.e.* production capacity of the facility), we used a  
223 threshold based on a definition declared by the Chilean government, whenever  
224 possible, or by an international regulating agency in the absence of a Chilean  
225 definition.

226 Thus, for power plants, we selected facilities using coal, diesel oil, petcoke,  
227 or number 6 fuel oil, as these are known to emit large amounts of sulfur dioxide  
228 (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>x</sub>), particulate matter (PM), and heavy metals such as  
229 arsenic, mercury, and lead. We discarded facilities with a total capacity (sum of all  
230 sources inside a facility) below 50 MW as these are rather small internal engine  
231 facilities, as stated in the Power Plant Emission Standard Law (MMA - Ministerio  
232 del Medio Ambiente, 2009), representing only 0.08%, 0.04%, and 0.6% of PM,  
233 NO<sub>x</sub>, and SO<sub>2</sub> emissions, respectively. A similar filter was used in a Spanish study  
234 (Garcia-Perez et al., 2009).

235 For pulp and paper mills, we selected facilities that produce paper and/or  
236 non-corrugated cardboard, as these processes require extensive use of chemicals  
237 including chlorinated substances. Regarding size, as no Chilean regulation  
238 specifies a threshold, we used a filter based on the European Union Integrated  
239 Pollution Prevention and Control (IPPC) guidelines (European Union, 1996), which  
240 regulate pulp and paper mills with production above 10,000 tony<sup>-1</sup> and 25,000 ton  
241 y<sup>-1</sup>, respectively. Finally, for mines and smelters, we selected copper facilities, as  
242 these are the largest facilities in Chile and are known to produce air, water, and  
243 solid pollutants. We did not include other minerals as these might produce different  
244 sets of pollutants, and therefore impact different health outcomes. Regarding size,  
245 for mining facilities we included only those considered “large mining facilities” by  
246 the Chilean Mining Law (Ministry of Mining, 1967), with production of at least  
247 75,000 tons y<sup>-1</sup>. We did not use a size filter for smelters, as there are no  
248 regulations that provide size-based classifications.

## 249 **2.2 Data on large industrial sources**

250 All information regarding large industrial sources was collected from public  
251 databases and is completely reproducible. Data was collected from a main data  
252 source, which were considered the most complete and reliable, and then  
253 complemented with other secondary data sources when necessary. For each  
254 source type, we built a master database including the owner, type of facility,  
255 location, product, type of process, annual production, and first year of production  
256 for each facility. Table 2 provides a summary of the information sources and  
257 selection filters, while Table 3 shows a summary of the selection process.  
258

259 Table 2. Large industrial facilities; data sources and filtering process.

Plant Type	Data sources (Reference)	Filters
Power plants	<p><u>Main</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Report "Installed capacity of national electric system, 2011" from the Chilean National Energy Commission (CNE - Comisión Nacional de Energía, 2011)</li> </ul> <p><u>Secondary</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Report "General analysis of economic and social impact (GAESI) of a power plant emission standard" from the Chilean Ministry of Environment (MMA - Ministerio del Medio Ambiente, 2009)</li> <li>Environmental Impact Statement ("Declaración de Impacto Ambiental, DIA") from Chilean Environmental Evaluation Service site (SEA - Servicio de Evaluación Ambiental, 2014)</li> <li>Webpages from the companies owning the facilities</li> </ul>	<p><u>Process</u></p> <p>Coal, diesel, petcoke, or fuel oil number 6</p> <p><u>First year of production</u></p> <p>2000 or earlier</p> <p><u>Installed capacity</u></p> <p>Over 50 MW.</p>
Paper mills	<p><u>Main</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Web page of the largest company: the Paper and Cardboard Manufacturing Company (CMPC - Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, 2014)</li> </ul> <p><u>Secondary</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Website of the Manufacturing Development Society's Forestry Directory (Sociedad de Fomento Fabril - SOFOFA, 2014).</li> <li>Website of the Cellulose and Paper Technical Association of Chile (ATCP Chile - Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel Chile, 2014)</li> <li>The Industrial Board of Cellulose, Wood, and Paper DirCemp - Directorio Industrial de la Celulosa, 2014)</li> </ul>	<p><u>Process</u></p> <p>Paper and/or non-corrugated cardboard</p> <p><u>First year of production</u></p> <p>2000 or earlier</p> <p><u>Installed capacity</u></p> <p>Over 25,000 tons per year</p>
Pulp mills	<p><u>Main</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Report "General analysis of social and economic impact of preliminary revisions to the emission standards for disturbing odors associated with the manufacturing of sulfated pulp, 2011" (MMA - Ministerio del Medio Ambiente, 2011)</li> </ul> <p><u>Secondary</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Web pages of the companies that own the facilities</li> <li>In the case of an inconsistency, the Environmental Evaluation Service was consulted (SEA - Servicio de Evaluación Ambiental, 2014)</li> </ul>	<p><u>Process</u></p> <p>Pulp (Cellulose) production</p> <p><u>First year of production</u></p> <p>2000 or earlier</p> <p><u>Installed capacity</u></p> <p>Over 10,000 tons per year</p>
Mining facilities	<p><u>Main</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Web page "List of the nation's mining facilities" from the Chilean General Secretary of the Presidency (Secretaría General de la Presidencia del Gobierno de Chile, 2013)</li> </ul> <p><u>Secondary</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Web page of the Mining Counsel (Consejo Minero, 2014)</li> <li>Web page of the National Mining Society (SONAMI - Sociedad Nacional de Minería, 2014)</li> <li>Web pages of the companies that own the facilities</li> </ul>	<p><u>Process</u></p> <p>Copper</p> <p><u>Year Starting Operations</u></p> <p>2000 or before</p> <p><u>Installed Capacity</u></p> <p>More than 75,000 tons a year.</p>
Copper Smelters	<p><u>Main</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Report "Final evaluation report on the benefits of emissions standards for copper smelters" (MMA - Ministerio del Medio Ambiente, 2012)</li> </ul>	<p><u>Process</u></p> <p>Copper</p> <p><u>First year of production</u></p> <p>2000 or earlier</p>

260 Table 3. Large-pollution-source selection process.

Source Type	Initial n	Filter: First year of production	Filter: production type	Filter: installed capacity
Power plants	Facilities (n=135)	Facilities (n=36)	Facilities (n=31)	Facilities (n=16)
	Communes (n=66)	Communes (n=26)	Communes (n=23)	Communes (n=11)
Paper mills	Facilities (n=13)	Facilities (n=13)	Facilities (n=8)	Facilities (n=7)
	Communes (n=12)	Communes (n=12)	Communes (n=8)	Communes (n=7)
Pulp mills	Facilities (n=8)	Facilities (n=6)	Facilities (n=6)	Facilities (n=6)
	Communes (n=8)	Communes (n=6)	Communes (n=6)	Communes (n=6)
Mining facilities	Facilities (n=40)	Facilities (n=31)	Facilities (n=22)	Facilities (n=13)
	Communes (n=22)	Communes (n=20)	Communes (n=15)	Communes (n=10)
Copper Smelters	Facilities (n=7)	Facilities (n=7)	Facilities (n=7)	Facilities (n=7)
	Communes (n=7)	Communes (n=7)	Communes (n=7)	Communes (n=7)

261 **2.3 Health data**

262 Data on mortality and hospitalizations are routinely collected by the  
263 Ministry of Health's Department of Statistics and Health Information. A dataset  
264 with individual events were downloaded from a government web site (MINSAL -  
265 Ministerio de Salud, 2014), which is available to all researchers upon request.  
266 Data included anonymous information for each individual event taken from  
267 death certificates and hospital records, with outcomes coded according to the  
268 World Health Organization's International Classification of Diseases, Version  
269 10. Each record contained date of event (death date for mortality, admission  
270 and discharge dates for hospitalizations), ICD-10 code for the outcome, and  
271 patient characteristics such as commune of residence, age, sex, place of death,  
272 and marital status. More information on the quality of death certificate data can  
273 be found elsewhere (Nunez and Icaza, 2006). Four communes were redistricted

274 (*i.e.* split in two communes) during the study period (Alto Hospicio - Iquique;  
275 Hualpén - Talcahuano; Alto Bío Bío - Santa Bárbara; and Cholchol - Nueva  
276 Imperial). As data was aggregated for the 2000-2010 period, we decided to  
277 preserve the year 2000 commune definitions and borders. Three communes  
278 were excluded because they are islands (Antarctica, Isla de Pascua, and Juan  
279 Fernandez), resulting in a total of 339 communes used in the study.

#### 280 **2.4 Data on population characteristics**

281 Population data was extracted from the 2002 national census figures  
282 along with the projections for each year of the analysis, available at the National  
283 Statistics Institute (INE - Instituto Nacional de Estadísticas, 2014). Other  
284 covariates included were the Human Development Index (HDI) obtained from  
285 the United Nations Development Program (UNDP) (United Nations  
286 Development Programme, 2014) and urbanization obtained from the 2002  
287 census also.

#### 288 **2.5 Data Analysis**

289 **Standard rates.** For each outcome, national rates were calculated for each  
290 year (2000–2010), sex, and age group using the health and population data.  
291 Seventeen 5-year age groups were constructed, ranging from 0–5 years to >80  
292 years. Crude rates were calculated for each commune by sex. Expected  
293 numbers of cases were calculated using the indirect method. Thus, for each  
294 year, sex, age group, and commune, expected cases were calculated using  
295 national rates and commune population statistics. Total expected cases per  
296 commune were then calculated for the entire 2000–2010 period. Observed

297 cases were also calculated for each commune for the whole period, and  
 298 standardized mortality/morbidity ratios (SMR) ( $\theta_i$ ) were calculated as the ratio of  
 299 observed ( $O_i$ ) and expected ( $E_i$ ) cases in each commune  $i$ , as shown in  
 300 Equation 1.

$$301 \quad \theta_i = \frac{O_i}{E_i} \quad \text{Equation 1}$$

302 **Models.** The impact of the large pollution sources was estimated within a  
 303 Bayesian framework using the model proposed by Besag, York, and Mollie  
 304 (BYM) ([Besag et al., 1991](#)), which has been used extensively in spatial  
 305 epidemiology ([Cambra et al., 2011](#); [Carlin, 2000](#); [Haining et al., 2007](#); [Law et](#)  
 306 [al., 2006](#); [MacNab, 2011](#)). Details on the model specifications and  
 307 implementation are detailed elsewhere ([Lawson, 2003](#)). Briefly, the excess risk  
 308 in a commune is calculated using Equation 2:

$$309 \quad \ln(E_i \theta_i) = \ln(E_i) + \alpha + X_i \beta + u_i + \varepsilon_i \quad \text{Equation 2}$$

310 where  $\alpha$  is the intercept,  $X_i$  is a vector of covariates or fixed effects, including  
 311 the presence of large pollution sources and other covariates,  $u_i$  represents  
 312 spatial autocorrelation, and  $\varepsilon_i$  is an overdispersion parameter that follows a  
 313 normal distribution  $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ . Bayesian modeling requires specification of prior  
 314 distributions for all parameters. We selected a non-informative normal  
 315 distribution for the parameter  $\beta$  and a uniform prior for  $\alpha$ . The parameter  $u_i$   
 316 allows for risk estimation in any commune to depend on neighboring  
 317 communes. Thus,  $u_i$  follows a conditional autoregressive model (CAR) as  
 318 proposed in the BYM model ([Besag et al., 1991](#)):

$$319 \quad (u_i | u_j \neq j, \sigma_u^2) \sim N(\bar{u}_i, \sigma_i^2) \quad \text{Equation 3}$$

320 where,  $\bar{u}_i = \frac{1}{\sum_j \omega_{ij}} \sum_j u_j \omega_{ij}$ ,  $\sigma_i^2 = \frac{\sigma_u^2}{\sum_j \omega_{ij}}$ , and  $\omega_{ij} = 1$  if  $i$  and  $j$  are adjacent, or 0 if  
321 they are not. Thus, to fit the model presented in Equation 3, it is necessary to  
322 define a matrix of adjacency or neighborhoods among the communes. To this  
323 end, we classified two communes as neighbors if they shared any part of their  
324 borders. Due to the presence of islands in the south of Chile, some communes  
325 do not share any borders. In these cases, we defined the neighborhood using  
326 connectivity criteria, that is, selecting the surrounding communes to which  
327 people commute to access to health services. This was the case for Chiloé, the  
328 largest island in southern Chile. To complete the model specifications, we  
329 defined a gamma distribution for the parameters  $\sigma_\varepsilon^2$  and  $\sigma_u^2$ , as suggested by  
330 Bernardinelli et al. (1995).

331 **Predictors.** All models included all large pollution sources as predictors (see  
332 Table 3). Large sources were included as dichotomous (presence or absence)  
333 or continuous (installed capacity) variables. In the latter case, the size filter was  
334 not applied. Pulp and paper mills were mixed into a single term. Models that  
335 treated facilities as continuous predictors excluded the mining facilities, as their  
336 processes and relative production magnitudes varied greatly.

337 Based on the results of preliminary analyses, we added other covariates  
338 and adjusted for potential confounders to ensure replicable and interpretable  
339 results. These included i) socio-economic status (SES), ii) urbanization level, iii)  
340 commune size, and iv) outlier indicators. An aggregate SES measure was  
341 calculated from the HDI. Originally, this measure is a unique index ranging from  
342 0 to 1 (with 1 representing the highest SES), constructed from three  
343 components: health, education, and income. Because the health dimension is  
344 assessed by life expectancy at birth, which already takes mortality into account,

345 it cannot be used as an explanatory variable. Therefore, we used the education  
346 and income components of the index as separate predictors (both ranging from  
347 0 to 1). Urbanization was included as a continuous (percent) and categorical  
348 variable, and commune size was calculated as a three-level dummy variable  
349 based on number of inhabitants: small (<10,000), medium (10,000 to 50,000),  
350 or large (>50,000). These thresholds were selected as they best fit the data.  
351 Finally, we constructed outlier terms to identify and exclude abnormally high or  
352 low results, defined as communes for which the logarithm of the calculated rate  
353 was greater than three standard deviations from the mean.

354

355 **Implementation.** Models were implemented in WinBUGS © (Lunn et al., 2000).

356 We ran Markov Chains with 350,000 iterations and burn-in periods of 50,000  
357 iterations. For each parameter, samples from the posterior distribution were  
358 selected every 300 iterations, resulting in a total of 1000 samples for posterior  
359 inference. The main parameters of interest were the estimated  $\beta$ s for the vector  
360 of covariates and their 95% credibility intervals. Relative risks were estimated  
361 by exponentiation of the  $\beta$ s and intervals. Models were run for each of the  
362 outcomes, separately by sex, modeling sources as dichotomous or continuous  
363 variables. All models were implemented including all covariates simultaneously  
364 (i.e. large sources, SES parameters, urbanization, size, and outliers), unless  
365 noted.

366

## 367 **3 Results**

### 368 **3.1 Characterization of the large pollution sources**

369 Information of the large sources selected for further analysis is  
370 summarized in Table 3 and Figure 1. Details on the selected large industrial  
371 sources by commune are reported in Tables S1-S4. Sixteen power plants were  
372 selected, located in eleven communes, mainly in northern Chile, with a total  
373 installed capacity of 4,845 MW. Two communes had particularly large installed  
374 capacities: Mejillones with 1,626 MW and Tocopilla with 877 MW. Thirteen pulp  
375 and paper mills were selected, located in eleven communes in central and  
376 southern Chile. Two communes in southern Chile were the largest producers:  
377 Arauco and Nacimiento, with 787,696 and 580,000 tons  $y^{-1}$ , respectively. Fifteen  
378 mining facilities were selected, mainly located in central and northern Chile. The  
379 Antofagasta region in the north (covering 9 communes) was the largest-  
380 producing copper mining area, with 2,274,308 tons  $y^{-1}$ , including the two largest-  
381 producing communes: Antofagasta and Calama, with 1,023,389 and 953,377  
382 tons  $y^{-1}$ , respectively. Seven copper smelters were selected in seven  
383 communes in central and northern Chile; with Calama and Machalí being the  
384 largest-producing communes, with 1,544,674 and 1,372,022 tons  $y^{-1}$ ,  
385 respectively. Finally, two communes had more than one large source:  
386 Mejillones, with two power plants and a mining facility, and Puchuncaví, with a  
387 power plant and copper smelter.

### 388 3.2 Impact of large pollution sources on health outcomes

389 Summary statistics for the health outcomes are shown in Table 4. Rates  
 390 varied widely among communes. The main causes of mortality were  
 391 cardiovascular diseases and cancer, followed by respiratory diseases; while the  
 392 main cause of hospitalization was respiratory diseases, followed by  
 393 cardiovascular diseases and cancer. Overall, mortality and morbidity rates were  
 394 slightly higher for men than women.

395

396 Table 4. Summary statistics for health outcomes by commune and sex

Outcome	Men (annual cases/1000 persons)				Women (annual cases/1000 persons)			
	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.
<u>Mortality</u>								
Total	5.38	1.71	0.22	13.13	4.73	1.55	0	14.61
Cardiovascular	1.67	0.60	0	3.85	1.42	0.55	0	4.87
Respiratory	0.59	0.23	0	1.76	0.54	0.25	0	2.61
All cancer	1.33	0.45	0	2.89	1.18	0.39	0	2.68
Lung cancer	0.14	0.09	0	0.78	0.07	0.05	0	0.29
Myocardial infarction	0.61	0.24	0	1.41	0.38	0.18	0	1.34
<u>Hospitalizations</u>								
Cardiovascular	6.20	2.65	0.16	15.18	5.49	2.45	0	16.29
Respiratory	11.51	6.08	0	35.78	11.00	6.41	0	36.45
All cancer	3.00	1.49	0	11.64	3.28	1.60	0	11.25
Pneumonia	5.20	2.99	0	16.19	4.95	3.08	0	17.92
Leukemia	0.62	0.48	0	4.09	0.46	0.41	0	3.28

397

398 The results for the health impacts of large industrial sources modeled as  
 399 dichotomous variables are shown in Table 5, while impacts modeled as  
 400 continuous variables are shown in Table 6. Associations were generally positive  
 401 for the dichotomous models. Overall, large and significant relative risks were  
 402 found for communes with power plants and smelters. Higher risks were also  
 403 observed for communes with pulp and paper mills and mining facilities, but  
 404 these were not significant. For men, communes with power plants had

405 increases on the order of 20% for total and cancer mortality and 20%–40% for  
406 cardiovascular-, respiratory-, and pneumonia-related hospitalizations. For  
407 women, communes with power plants also had significantly elevated total and  
408 cancer mortality, but at a lower magnitude (10%) than for men, as well as  
409 significantly elevated hospitalizations. Communes with smelters had  
410 significantly increased rates of respiratory hospitalizations for men, on the order  
411 of 30%.

412 Table 5. Model results for the impact of large industrial sources modeled as dichotomous variables

Outcome	RR (95% CI), Men*				RR (95% CI), Women*			
	Power plants	Paper and pulp mills	Copper smelters	Copper mining facilities	Power plants	Paper and pulp mills	Copper smelters	Copper mining facilities
<b>Mortality</b>								
Total	1.11 (0.99–1.24)	1.01 (0.92–1.11)	1.09 (0.96–1.23)	0.99 (0.89–1.11)	<b>1.09 (1.01–1.18)</b>	0.99 (0.932–1.07)	1.08 (0.98–1.20)	0.96 (0.88–1.04)
Cardiovascular	1.08 (0.96–1.21)	1.03 (0.94–1.14)	1.08 (0.94–1.25)	0.99 (0.87–1.11)	1.08 (0.98–1.19)	1.00 (0.916–1.10)	1.12 (0.98–1.27)	0.94 (0.84–1.05)
Respiratory	1.04 (0.91–1.21)	1.04 (0.92–1.18)	1.18 (0.98–1.42)	1.01 (0.85–1.18)	1.01 (0.90–1.15)	0.97 (0.867–1.10)	1.07 (0.89–1.29)	1.04 (0.90–1.21)
All cancers	<b>1.16 (1.03–1.30)</b>	0.94 (0.85–1.04)	1.08 (0.95–1.24)	0.97 (0.86–1.10)	<b>1.09 (1.01–1.19)</b>	0.97 (0.909–1.05)	0.98 (0.88–1.08)	0.99 (0.91–1.10)
Lung cancer**	<b>1.20 (1.03–1.42)</b>	0.98 (0.83–1.15)	1.02 (0.81–1.29)	0.92 (0.75–1.14)	1.04 (0.91–1.20)	0.85 (0.718–1.00)	1.17 (0.91–1.50)	1.00 (0.81–1.24)
Myocardial infarction	1.10 (0.95–1.26)	1.02 (0.90–1.16)	0.99 (0.82–1.19)	1.00 (0.85–1.18)	1.16 (0.97–1.37)	0.92 (0.796–1.07)	1.09 (0.86–1.38)	1.04 (0.85–1.27)
<b>Hospitalizations</b>								
Cardiovascular	<b>1.28 (1.01–1.62)</b>	0.96 (0.77–1.19)	<b>1.33 (1.00–1.78)</b>	0.77 (0.60–1.01)	<b>1.33 (1.06–1.66)</b>	0.94 (0.754–1.16)	1.15 (0.88–1.52)	0.94 (0.74–1.18)
Respiratory***	<b>1.46 (1.14–1.90)</b>	1.01 (0.824–1.24)	1.33 (0.95–1.76)	0.92 (0.69–1.20)	<b>1.44 (1.10–1.87)</b>	1.00 (0.802–1.24)	1.22 (0.85–1.76)	1.00 (0.76–1.34)
All cancer**	1.19 (0.98–1.44)	0.94 (0.80–1.010)	1.14 (0.92–1.44)	0.90 (0.71–1.10)	1.09 (0.88–1.32)	0.92 (0.773–1.07)	0.99 (0.77–1.30)	0.97 (0.78–1.20)
Pneumonia**	<b>1.33 (1.04–1.72)</b>	1.04 (0.84–1.28)	1.40 (0.98–1.96)	0.95 (0.72–1.26)	<b>1.40 (1.02–1.86)</b>	1.04 (0.816–1.31)	1.23 (0.85–1.77)	0.90 (0.74–1.10)
Leukemia**	0.87 (0.57–1.28)	0.98 (0.71–1.36)	1.44 (0.83–2.40)	0.67 (0.42–1.03)	0.97 (0.65–1.43)	1.03 (0.76–1.43)	0.72 (0.40–1.28)	1.18 (0.71–1.70)

413 \*Model covariates: Urbanization (continuous) + Size of commune (categorical) + HDI income + HDI education+ (outliers)

414 \*\* Model covariates: Urbanization (categorical) + Size of commune (categorical) + HDI income + HDI education+ (outliers)

415 \*\*\* Model covariates: Size of commune (categorical) +HDI income + HDI education + (outliers)

416 **Bold:** estimates whose 95% credibility intervals do not include 1

417

418

419

420

421 Table 6. Model results for the impact of large industrial sources modeled as continuous variables.

Outcome	RR (95% CI), Men*			RR (95% CI), Women*		
	Power plants	Paper and pulp mills	Copper smelters	Power plants	Paper and pulp mills	Copper smelters
<b>Mortality</b>						
Total	<b>1.42 (1.16–1.73)</b>	0.93(0.80–1.09)	<b>1.17 (1.03–1.33)</b>	<b>1.19 (1.02–1.37)</b>	0.96(0.84–1.08)	1.09(0.98–1.20)
Cardiovascular	<b>1.26 (1.01–1.60)</b>	0.98(0.83–1.15)	<b>1.15 (1.01–1.31)</b>	1.20(0.98–1.51)	0.96(0.81–1.12)	<b>1.16 (1.02–1.33)</b>
Respiratory	1.29(0.96–1.72)	0.95 (0.76–1.19)	<b>1.26 (1.06–1.52)</b>	1.03(0.78–1.39)	0.96(0.79–1.17)	1.09(0.93–1.28)
All cancers	<b>1.70 (1.36–2.13)</b>	0.87(0.75–1.04)	<b>1.16 (1.01–1.34)</b>	<b>1.25 (1.04–1.50)</b>	0.92(0.82–1.05)	1.03 (0.92–1.15)
Lung cancer	<b>1.94 (1.36–2.74)</b>	0.83(0.58–1.14)	1.03(0.81–1.29)	1.35(0.87–2.03)	0.64(0.43–0.93)	1.11(0.88–1.40)
Myocardial infarction	1.27(0.96–1.69)	1.04(0.83–1.30)	1.11(0.93–1.35)	1.16(0.82–1.64)	0.89(0.68–1.16)	1.07(0.87–1.34)
<b>Hospitalizations</b>						
Cardiovascular	<b>1.72 (1.12–2.67)</b>	0.93(0.63–1.35)	1.32(0.96–1.78)	<b>1.71 (1.16–2.59)</b>	0.90(0.65–1.30)	1.28(0.96–1.70)
Respiratory	<b>1.72 (1.05–2.80)</b>	1.14(0.75–1.69)	1.39(0.98–1.95)	<b>2.07 (1.33–3.19)</b>	1.18(0.78–1.82)	1.37 (0.98–1.90)
All cancer	<b>1.78 (1.23–2.59)</b>	0.97(0.70–1.32)	1.28(0.99–1.66)	<b>1.78 (1.23–2.59)</b>	1.09(0.77–1.54)	0.98(0.77–1.25)
Pneumonia	<b>1.71 (1.05–2.75)</b>	1.17(0.77–1.83)	<b>1.42 (1.02–2.04)</b>	<b>1.92 (1.16–3.22)</b>	1.27 (0.81–1.93)	1.35(0.93–1.97)
Leukemia	1.08(0.52–2.29)	1.17(0.60–2.23)	1.43 (0.80–2.43)	0.65(0.32–1.36)	0.88(0.45–1.71)	0.88(0.51–1.48)

422 \*Model covariates: Urbanization (categorical) + Size of commune (categorical) + HDI income + HDI education + (outliers)

423 \*\* For power plants, change in RR per 1000 MW of installed capacity. For paper and pulp mills, change in RR per 700,000 tons per year of production. For copper smelters, change in RR per 1,000,000 tons per year of production.

424 **Bold:** estimates whose 95% credibility intervals does not include 1

425

426           When modeling sources as continuous variables (Table 6), results  
427 yielded even more statistically significant associations, as well as associations  
428 of greater magnitude, than the previous ones modeled as dichotomous. The  
429 greatest impacts were again found for communes with power plants and  
430 smelters, while non-significant positive associations for pulp and paper mills  
431 were found. For men, communes with power plants showed the greatest  
432 associations, with increases in total, cardiovascular, all-cancer, and lung cancer  
433 mortality on the order of 30%–100% per 1000 MW of installed capacity.  
434 Hospitalizations were increased by about 70% for pneumonia, with more  
435 modest increases for cardiovascular disease, respiratory disease, and all  
436 cancers. The same pattern was observed for women. Communes with power  
437 plants showed increases of about 20%–30% per 1000 MW for total and all-  
438 cancer mortality, and about 70–100% per 1000 MW for hospitalizations due to  
439 cardiovascular disease, respiratory disease, all cancers, and pneumonia. In  
440 communes with smelters, men showed increased total, cardiovascular,  
441 respiratory, and all-cancer mortality, on the order of 10%–20% per million tons/y  
442 of production, and increased rates of hospitalizations for pneumonia, on the  
443 order of 40% per million tons/y of production.

444

#### 445 **4 Discussion**

446           This study reveals that communes with power plants experience elevated  
447 mortality and hospitalization rates. Communes with smelters also suffer higher  
448 mortality and morbidity, albeit at lower rates and with less consistency among  
449 outcomes. Several findings are consistent with the hypothesis that these large  
450 sources of pollution have a major health impact for the population. First,

451 increases in morbidity and mortality were generally large, on the order of  
452 10%–100%. Second, results for mortality and morbidity by health outcome were  
453 consistent. Third, the health impacts were typically greater among males than  
454 females, attributable to increased occupational exposure to the pollutants.  
455 Fourth, impacts were greater and more consistent when exposure was modeled  
456 as a continuous variable (*i.e.* facility size), which is expected as the continuous  
457 variable serves a better surrogate for exposure than the dichotomous one.  
458 Finally, the health impacts observed could be explained, at least in part, by air  
459 pollutants (PM, NO<sub>x</sub>, and SO<sub>2</sub>). Communes with power plants or smelters are  
460 likely to have high air pollution levels, and high air pollution has been shown to  
461 produce the type of impacts observed (WHO, 2005). As an example, according  
462 to the WHO air quality guidelines, increases of PM<sub>2.5</sub> of 10 µg m<sup>-3</sup> have been  
463 associated with increases in total and cardiopulmonary long-term mortality of  
464 4% and 6%, respectively.

465         Several ecological studies have analyzed the impact of industrial  
466 sources; however, few have analyzed the sources and health outcomes  
467 targeted by this study (Table S5). For mortality, studies performed in the  
468 Basque region of Spain (Cambra et al., 2011) have reported that power plants  
469 and smelters impact cancer mortality and total mortality, respectively. These  
470 studies also reported that smelters affect respiratory and myocardial infarction  
471 mortality in women; in our study, we found a positive but statistically  
472 insignificant associations for these relationships. For Spain as a whole, Garcia-  
473 Perez et al. reported that the presence of a power plant impacted lung cancer at  
474 a magnitude similar to that found in this study. Similar findings were obtained by  
475 Parodi et al. and Bilancia et a. in Italy (Bilancia and Fedespina, 2009; Parodi et

476 al., 2004). However, Fernandez-Navarro et al., Ramis et al. and Garcia-Perez et  
477 al. found that mining facilities also impacted rates of lung cancer, which we  
478 were not able confirm here ([Fernandez-Navarro et al., 2012](#); Garcia-Perez et  
479 al., 2015; [Garcia-Perez et al., 2009](#); [Ramis et al., 2012](#)). Regarding  
480 hospitalizations, only one study, performed in New York, has analyzed the  
481 impact of power plants at the small-area (Liu et al., 2012). As the current study,  
482 the authors found an impact on respiratory disease hospitalizations. Finally,  
483 several studies have found impacts on cancer mortality for paper or pulp mills,  
484 however in general these impacts are on specific cancer locations (Lopez-  
485 Abente et al., 2012a; Lopez-Abente et al., 2012b; Ramis et al., 2012). Overall,  
486 the impacts that we found for power plants and smelters are consistent with the  
487 literature though greater in magnitude than previously described, possibly due  
488 to more stringent regulations in other countries.

489       There are limitations to this study. First, it is an ecological study which  
490 makes it difficult to establish causality; however, the advantage of this design is  
491 that it can capture associations across different aggregated populations.  
492 Second, because the time-aggregation used (2000-2010) a trade-off in  
493 aggregating exposure data (before 2000) was chosen. This can introduce a  
494 possible exposure misclassification as there could be less than needed latency  
495 time for long-term impacts, and also underestimate exposures after year 2000  
496 for short-term impacts. This bias should be minor as i) chronic impacts will likely  
497 dominate over acute impacts for most outcomes, ii) latency factors are likely to  
498 be covered as most plants started well before year 2000, iii) acute impacts  
499 should be dominated by plants operating before 2000, as only large power- and  
500 cellulose-plants were installed recently, and mostly after year 2005. Another

501 misclassification problem is the exposure aggregation at the commune level.  
502 We did not consider impacts of plants in surrounding communes as we consider  
503 the observing unit being rather large spatially and absorb most of the impacts.  
504 In any case, if a misclassification bias take place, both for temporal and spatial  
505 aggregation, it will likely bias the results to the null, so our observations would  
506 represent conservative estimates.

507         Third, the study analyzed an earlier time period, prior to the introduction  
508 of several recent regulations in Chile; therefore, the impacts found might not  
509 reflect the current situation. This provides an opportunity to explore the public  
510 health impact of major regulations introduced after the year 2000 as an ongoing  
511 effort. A fourth limitation is related to the set of outcomes studied. As this is the  
512 first study of its kind in Chile, we chose fairly broad disease markers. This  
513 limitation may explain why some pollution sources did not appear to have an  
514 impact. More specific outcomes (such as specific cancer locations) and  
515 populations (such as children or the elderly) should be addressed in future  
516 studies. The fact that we did not find impacts for some sources may also be  
517 attributable to sample size, as the impact may be smaller than the credibility  
518 intervals provided by the study.

519         Regarding data quality, in Chile mortality data is generally considered to  
520 be a more reliable than hospitalizations. Hospitalization data is also complicated  
521 by the problem of multiple records for one incident event. However, in this  
522 study, mortality and hospitalization results were highly consistent. Potential  
523 confounders include covariates associated both with exposure and outcomes.  
524 One such confounder is SES as is likely that communes with industrial plants  
525 have lower SES and it is known that populations with low SES have poorer

526 health (Brulle and Pellow, 2006; [James et al., 2012](#); Norton et al., 2007), which  
527 has been shown in Chile (Frenz and Gonzalez, 2010; Gattini et al., 2002).  
528 However, SES can be both as confounder, *i.e.* have an independent effect, or  
529 can be causally linked with industrial plants, *i.e.* SES impacts health through  
530 exposure to industrial plants. Considering the later possibility imply that our  
531 results are conservative estimates. Residual confounding is always a possibility,  
532 but it is unlikely that could explain the large impacts observed in this study.  
533 Another potential confound is smoking, which was not measured. However, for  
534 smoking to act as a confounder, communes with large sources of pollution must  
535 have a higher smoking prevalence than communes without these facilities,  
536 which is also unlikely.

537         Several approaches might be used in future studies. First, researchers  
538 could analyze health impacts in even smaller areas such as census tracts,  
539 which could improve the precision of the exposure variables. To this end, it may  
540 be advisable for the government (DEIS) to collect health information at this  
541 level. Another way to improve the precision of the exposure variables is to  
542 gather more precise information regarding facility emissions. In Chile, since  
543 2005 emissions are declared by facilities using the Ministry of Environment's  
544 Registry of Emissions and Contaminant Transfers (Ministerio del Medio  
545 Ambiente Chile - MMA, 2014). However, this system could not be used for this  
546 study, as no data was available before 2005, and at the time of the study the  
547 information regarding air and water discharges was incomplete. Furthermore,  
548 the registries included addresses but not company names, which could lead to  
549 errors in identifying the industrial facilities. Third, the analysis of health impacts  
550 could be improved by increasing the number of outcomes and stratifying the

551 sample into specific age groups such as children and the elderly. As explained  
552 above, some pollution sources might have specific health impacts (such as  
553 asthma, COPD, other leukemia and blood disorders, specific cancers locations,  
554 specific cardiovascular outcomes, malformations, and so on) not covered in this  
555 study. Finally, the current study can be used as a baseline to study the health  
556 impacts of current and future regulations for large industrial sources of pollution.

557         This is the first study of its kind in Chile, and to our knowledge, Latin  
558 America. Despite its limitations, if the large health impacts identified here are  
559 even partially valid, current regulation and operation of these facilities should be  
560 reviewed to protect the surrounding populations and workers. Public health  
561 efforts should include reviewing emission standards, emission permits,  
562 environmental standards, and occupational regulations. We noted that several  
563 efforts have been ongoing since 2000 regarding this issue. Finally, as an  
564 organized society, we may do well to evaluate whether these facilities should be  
565 built farther from human populations and whether we might update them to  
566 cleaner production systems or replace them, for instance, for renewable energy  
567 sources.

568         In conclusion, communes with large industrial sources of pollution,  
569 especially power plants and smelters, showed large health impacts as  
570 measured by mortality and morbidity. The main health outcomes affected were  
571 total mortality as well as mortality and morbidity related to cardiovascular  
572 disease, pulmonary disease, and cancer.

573

## 574 **5 Bibliography**

575

- 576 Arrow, K.J.; Cropper, M.L.; Eads, G.C.; Hahn, R.W.; Lave, L.B.; Noll, R.G.;  
577 Portney, P.R.; Russell, M.; Schmalensee, R.; Smith, V.K.; Stavins, R.N.  
578 Is there a role for benefit-cost analysis in environmental, health, and  
579 safety regulation? *Science*. 272:221-222; 1996
- 580 ATCP Chile - Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel Chile. 2014;  
581 Available: <http://www.atcp.cl/>
- 582 Banco Central de Chile. Statistics Database. 2015; Available:  
583 <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx>
- 584 [Bernardinelli, L.; Clayton, D.; Montomoli, C. Bayesian Estimates of Disease  
585 Maps - How Important Are Priors. \*Statistics in Medicine\*. 14:2411-2431;  
586 1995](#)
- 587 [Besag, J.; York, J.; Mollie, A. Bayesian Image-Restoration, with 2 Applications  
588 in Spatial Statistics. \*Annals of the Institute of Statistical Mathematics\*.  
589 43:1-20; 1991](#)
- 590 [Bilancia, M.; Fedespina, A. Geographical clustering of lung cancer in the  
591 province of Lecce, Italy: 1992-2001. \*International Journal of Health  
592 Geographics\*. 8; 2009](#)
- 593 Brulle, R.J.; Pellow, D.N. Environmental justice: human health and  
594 environmental inequalities. *Annu Rev Public Health*. 27:103-124; 2006
- 595 [Cambra, K.; Martinez-Rueda, T.; Alonso-Fustel, E.; Cirarda, F.B.; Ibanez, B.;  
596 Esnaola, S.; Calvo, M.; Aldasoro, E.; Montoya, I. Mortality in small  
597 geographical areas and proximity to air polluting industries in the Basque  
598 Country \(Spain\). \*Occupational and Environmental Medicine\*. 68:140-147;  
599 2011](#)
- 600 Carlin, L.T. Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis. Second  
601 edition: Chapman & Hall; 2000
- 602 [Cirera, L.; Cirarda, F.; Palencia, L.; Estarlich, M.; Montes-Martinez, A.; Lorenzo,  
603 P.; Daponte-Codina, A.; Lopez-Abente, G. Mortality due to  
604 haematological cancer in cities close to petroleum refineries in Spain.  
605 \*Environmental Science and Pollution Research\*. 20:591-596; 2013](#)
- 606 CMPC - Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones. 2014; Available:  
607 <http://www.cmpccelulosa.cl/>
- 608 CNE - Comisión Nacional de Energía. Capacidad Instalada por Sistema  
609 Eléctrico Nacional. 2011; Available:  
610 [http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06\\_Estadisticas/energia/Electricid  
611 ad.html](http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Electricidad.html)
- 612 Consejo Minero. 2014; Available: <http://www.consejominero.cl/>
- 613 [Dolk, H.; Thakrar, B.; Walls, P.; Landon, M.; Grundy, C.; Lloret, I.S.; Wilkinson,  
614 P.; Elliott, P. Mortality among residents near cokeworks in Great Britain.  
615 \*Occupational and Environmental Medicine\*. 56:34-40; 1999](#)
- 616 [Elliott, P.; Hills, M.; Beresford, J.; Kleinschmidt, I.; Jolley, D.; Pattenden, S.;  
617 Rodrigues, L.; Westlake, A.; Rose, G. Incidence of Cancers of the Larynx  
618 and Lung near Incinerators of Waste Solvents and Oils in Great-Britain.  
619 \*Lancet\*. 339:854-858; 1992](#)
- 620 [Elliott, P.; Shaddick, G.; Kleinschmidt, I.; Jolley, D.; Walls, P.; Beresford, J.;  
621 Grundy, C. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in  
622 Great Britain. \*British Journal of Cancer\*. 73:702-710; 1996](#)
- 623 European Union. Directive 96/61/CE counsel for Integrated Pollution Prevention  
624 and Control (IPPC). 1996; Available:

- 625 [http://www.sghn.org/Normativa\\_ambiental/Contaminacion/Directiva\\_96\\_](http://www.sghn.org/Normativa_ambiental/Contaminacion/Directiva_96_)  
626 [61\\_CE\\_Preencion\\_control\\_integrado\\_contaminacion.pdf](http://www.sghn.org/Normativa_ambiental/Contaminacion/Directiva_96_)
- 627 [Federico, M.; Pirani, M.; Rashid, I.; Caranci, N.; Cirilli, C. Cancer incidence in](#)  
628 [people with residential exposure to a municipal waste incinerator: An](#)  
629 [ecological study in Modena \(Italy\), 1991-2005. Waste Management.](#)  
630 [30:1362-1370; 2010](#)
- 631 [Fernandez-Navarro, P.; Garcia-Perez, J.; Ramis, R.; Boldo, E.; Lopez-Abente,](#)  
632 [G. Proximity to mining industry and cancer mortality. Science of the Total](#)  
633 [Environment. 435:66-73; 2012](#)
- 634 [Fielder, H.M.P.; Poon-King, C.M.; Palmer, S.R.; Moss, N.; Coleman, G.](#)  
635 [Assessment of impact on health of residents living near the Nant-y-](#)  
636 [Gwyddon landfill site: retrospective analysis. British Medical Journal.](#)  
637 [320:19-22; 2000](#)
- 638 [Frenz, P.; Gonzalez, C. \[Application of a simple methodological approach to](#)  
639 [analyze health inequalities: the case of infant mortality in Chile\]. Rev Med](#)  
640 [Chil. 138:1157-1164; 2010](#)
- 641 [Garcia-Perez, J.; Fernandez-Navarro, P.; Castello, A.; Lopez-Cima, M.F.;](#)  
642 [Ramis, R.; Boldo, E.; Lopez-Abente, G. Cancer mortality in towns in the](#)  
643 [vicinity of incinerators and installations for the recovery or disposal of](#)  
644 [hazardous waste. Environment International. 51:31-44; 2013](#)
- 645 [Garcia-Perez, J.; Lopez-Abente, G.; Castello, A.; Gonzalez-Sanchez, M.;](#)  
646 [Fernandez-Navarro, P. Cancer mortality in towns in the vicinity of](#)  
647 [installations for the production of cement, lime, plaster, and magnesium](#)  
648 [oxide. Chemosphere. 128:103-110; 2015](#)
- 649 [Garcia-Perez, J.; Lopez-Cima, M.F.; Boldo, E.; Fernandez-Navarro, P.;](#)  
650 [Aragones, N.; Pollan, M.; Perez-Gomez, B.; Lopez-Abente, G. Leukemia-](#)  
651 [related mortality in towns lying in the vicinity of metal production and](#)  
652 [processing installations. Environment International. 36:746-753; 2010a](#)
- 653 [Garcia-Perez, J.; Lopez-Cima, M.F.; Perez-Gomez, B.; Aragones, N.; Pollan,](#)  
654 [M.; Vidal, E.; Lopez-Abente, G. Mortality due to tumours of the digestive](#)  
655 [system in towns lying in the vicinity of metal production and processing](#)  
656 [installations. Science of the Total Environment. 408:3102-3112; 2010b](#)
- 657 [Garcia-Perez, J.; Lopez-Cima, M.F.; Pollan, M.; Perez-Gomez, B.; Aragones,](#)  
658 [N.; Fernandez-Navarro, P.; Ramis, R.; Lopez-Abente, G. Risk of dying of](#)  
659 [cancer in the vicinity of multiple pollutant sources associated with the](#)  
660 [metal industry. Environment International. 40:116-127; 2012](#)
- 661 [Garcia-Perez, J.; Pollan, M.; Boldo, E.; Perez-Gomez, B.; Aragones, N.; Lope,](#)  
662 [V.; Ramis, R.; Vidal, E.; Lopez-Abente, G. Mortality due to lung,](#)  
663 [laryngeal and bladder cancer in towns lying in the vicinity of combustion](#)  
664 [installations. Science of the Total Environment. 407:2593-2602; 2009](#)
- 665 [Gattini, C.; Sanderson, C.; Castillo-Salgado, C. \[Using different indicators of](#)  
666 [preventable mortality as an approach to measuring health inequalities in](#)  
667 [Chilean municipalities\]. Rev Panam Salud Publica. 12:454-461; 2002](#)
- 668 [Haining, R.; Law, J.; Maheswaran, R.; Pearson, T.; Brindley, P. Bayesian](#)  
669 [modelling of environmental risk: example using a small area ecological](#)  
670 [study of coronary heart disease mortality in relation to modelled outdoor](#)  
671 [nitrogen oxide levels. Stochastic Environmental Research and Risk](#)  
672 [Assessment. 21:501-509; 2007](#)

- 673 Icaza G, N.L., Díaz N, Varela D. Atlas de mortalidad por enfermedades  
674 cardiovasculares en Chile, 1997- 2003. Universidad de Talca y Ministerio  
675 de Salud; 2006
- 676 Icaza G, N.L., Torres-Avilés F, Díaz N, Villarroel J, Soto A, et al. Atlas de  
677 mortalidad en Chile 2001-2008: Editorial Universidad de Talca, Talca,  
678 Chile; 2013
- 679 Icaza, M.G.; Nunez, M.L.; Torres, F.J.; Diaz, N.L.; Varela, D.E. Geographical  
680 distribution of mortality caused by stomach, trachea, bronchi and lung  
681 malignant tumors in Chile. Revista Medica De Chile. 135:1397-1405;  
682 2007
- 683 INE - Instituto Nacional de Estadísticas. 2014; Available: <http://www.ine.cl/>
- 684 James, W.; Jia, C.; Kedia, S. Uneven magnitude of disparities in cancer risks  
685 from air toxics. Int J Environ Res Public Health. 9:4365-4385; 2012
- 686 Law, J.; Haining, R.; Maheswaran, R.; Pearson, T. Analyzing the relationship  
687 between smoking and coronary heart disease at the small area level: A  
688 Bayesian approach to spatial modeling. Geographical Analysis. 38:140-  
689 159; 2006
- 690 Lawson, A.B.B., W.J.; Vidal C.L. Disease mapping with WinBUGS and MLwiN:  
691 John Wiley & Sons, England; 2003
- 692 Liu, X.P.; Lessner, L.; Carpenter, D.O. Association between Residential  
693 Proximity to Fuel-Fired Power Plants and Hospitalization Rate for  
694 Respiratory Diseases. Environmental Health Perspectives. 120:807-810;  
695 2012
- 696 Lopez-Abente, G.; Aragoes, N.; Ramis, R.; Hernandez-Barrera, V.; Perez-  
697 Gomez, B.; Escolar-Pujolar, A.; Pollan, M. Municipal distribution of  
698 bladder cancer mortality in Spain: possible role of mining and industry.  
699 BMC Public Health. 6:17; 2006
- 700 Lopez-Abente, G.; Fernandez-Navarro, P.; Boldo, E.; Ramis, R.; Garcia-Perez,  
701 J. Industrial pollution and pleural cancer mortality in Spain. Science of  
702 the Total Environment. 424:57-62; 2012a
- 703 Lopez-Abente, G.; Garcia-Perez, J.; Fernandez-Navarro, P.; Boldo, E.; Ramis,  
704 R. Colorectal cancer mortality and industrial pollution in Spain. BMC  
705 Public Health. 12; 2012b
- 706 Lunn, D.J.; Thomas, A.; Best, N.; Spiegelhalter, D. WinBUGS - A Bayesian  
707 modelling framework: Concepts, structure, and extensibility. Statistics  
708 and Computing. 10:325-337; 2000
- 709 MacNab, Y.C. On Gaussian Markov random fields and Bayesian disease  
710 mapping. Statistical Methods in Medical Research. 20:49-68; 2011
- 711 Michelozzi, P.; Fusco, D.; Forastiere, F.; Ancona, C.; Dell'Orco, V.; Perucci,  
712 C.A. Small area study of mortality among people living near multiple  
713 sources of air pollution. Occupational and Environmental Medicine.  
714 55:611-615; 1998
- 715 Ministerio del Medio Ambiente Chile - MMA. Registro de Emisiones y  
716 Transferencias de Contaminantes (RETC). 2014; Available:  
717 <http://www.retc.cl/>
- 718 Ministry of Mining. FIJA EL TEXTO REFUNDIDO Y DEFINITIVO DE LA LEY N°  
719 11.828, DE 5 DE MAYO DE 1955, Y DE LA LEY N° 16.425, DE 25 DE  
720 ENERO DE 1966. 1967; Available: [www.leychile.cl](http://www.leychile.cl)
- 721 MINSAL - Ministerio de Salud. DEIS - Departamento de Estadísticas e  
722 Información en Salud. 2014; Available: [www.deis.cl](http://www.deis.cl)

- 723 MMA - Ministerio del Medio Ambiente. Análisis General del Impacto Económico  
724 y Social (AGIES) de una Norma de Emisión para Termoeléctricas. 2009;  
725 Available: [http://www.sinia.cl/1292/articles-44963\\_informe\\_final\\_term.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-44963_informe_final_term.pdf)
- 726 MMA - Ministerio del Medio Ambiente. Análisis General del Impacto Económico  
727 y Social del Anteproyecto de Revisión de la Norma de Emisión para  
728 olores molestos asociados a la fabricación de pulpa sulfatada. D.S.  
729 N°167/99 MINSEGPRES. 2011
- 730 MMA - Ministerio del Medio Ambiente. Informe Final de la Evaluación de  
731 Beneficios de una Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre. 2012
- 732 Monge-Corella, S.; Garcia-Perez, J.; Aragonés, N.; Pollan, M.; Perez-Gomez,  
733 B.; Lopez-Abente, G. Lung cancer mortality in towns near paper, pulp  
734 and board industries in Spain: a point source pollution study. *BMC Public  
735 Health*. 8:288; 2008
- 736 Norton, J.M.; Wing, S.; Lipscomb, H.J.; Kaufman, J.S.; Marshall, S.W.; Cravey,  
737 A.J. Race, wealth, and solid waste facilities in North Carolina. *Environ  
738 Health Perspect*. 115:1344-1350; 2007
- 739 Nunez, M.L.; Icaza, M.G. Quality of mortality statistics in Chile, 1997-2003.  
740 *Revista Medica De Chile*. 134:1191-1196; 2006
- 741 Parodi, S.; Baldi, R.; Benco, C.; Franchini, M.; Garrone, E.; Vercelli, M.; Pensa,  
742 F.; Puntoni, R.; Fontana, V. Lung cancer mortality in a district of La  
743 Spezia (Italy) exposed to air pollution from industrial plants. *Tumori*.  
744 90:181-185; 2004
- 745 Parodi, S.; Stagnaro, E.; Casella, C.; Puppo, A.; Daminelli, E.; Fontana, V.;  
746 Valerio, F.; Vercelli, M. Lung cancer in an urban area in Northern Italy  
747 near a coke oven plant. *Lung Cancer*. 47:155-164; 2005
- 748 Prieto, R.R.; Garcia-Perez, J.; Pollan, M.; Aragonés, N.; Perez-Gomez, B.;  
749 Lopez-Abente, G. Modelling of municipal mortality due to haematological  
750 neoplasias in Spain. *Journal of Epidemiology and Community Health*.  
751 61:165-171; 2007
- 752 Ramis, R.; Diggle, P.; Cambra, K.; Lopez-Abente, G. Prostate cancer and  
753 industrial pollution Risk around putative focus in a multi-source scenario.  
754 *Environment International*. 37:577-585; 2011
- 755 Ramis, R.; Fernandez-Navarro, P.; Garcia-Perez, J.; Boldo, E.; Gomez-Barroso,  
756 D.; Lopez-Abente, G. Risk of cancer mortality in spanish towns lying in  
757 the vicinity of pollutant industries. *ISRN Oncol*. 2012:614198; 2012
- 758 Ramis, R.; Vidal, E.; Garcia-Perez, J.; Lope, V.; Aragonés, N.; Perez-Gomez,  
759 B.; Pollan, M.; Lopez-Abente, G. Study of non-Hodgkin's lymphoma  
760 mortality associated with industrial pollution in Spain, using Poisson  
761 models. *Bmc Public Health*. 9; 2009
- 762 Sans, S.; Elliott, P.; Kleinschmidt, I.; Shaddick, G.; Pattenden, S.; Walls, P.;  
763 Grundy, C.; Dolk, H. Cancer Incidence and Mortality near the Baglan Bay  
764 Petrochemical Works, South Wales. *Occupational and Environmental  
765 Medicine*. 52:217-224; 1995
- 766 SEA - Servicio de Evaluación Ambiental. 2014; Available:  
767 <http://www.sea.gob.cl/>
- 768 Secretaría General de la Presidencia del Gobierno de Chile. Portal de datos  
769 públicos - Listado de Faenas Mineras del País. 2013; Available:  
770 <http://datos.gob.cl/datasets/ver/2740>
- 771 Sociedad de Fomento Fabril - SOFOFA. Directorio Forestal. 2014; Available:  
772 <http://www.forestalchile.cl/>

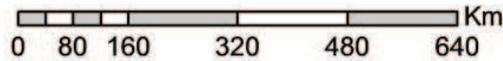
- 773 SONAMI - Sociedad Nacional de Minería. 2014; Available:  
774 <http://www.sonami.cl/>
- 775 United Nations Development Programme. Human Development Index (HDI).  
776 2014; Available: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development->  
777 [index-hdi](http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi)
- 778 United States Government Accountability Office. Report to Congressional  
779 Requesters: CHEMICAL REGULATION Options Exist to Improve EPA's  
780 Ability to Assess Health Risks and Manage Its Chemical Review  
781 Program. 2005
- 782 WHO. Air Quality Guidelines- Global Update. Copenhagen: World Health  
783 Organization Regional Office for Europe 2005
- 784 Wilkinson, P.; Thakrar, B.; Walls, P.; Landon, M.; Falconer, S.; Grundy, C.;  
785 Elliott, P. Lymphohaematopoietic malignancy around all industrial  
786 complexes that include major oil refineries in Great Britain. Occupational  
787 and Environmental Medicine. 56:577-580; 1999
- 788 World Bank. World Development Indicators: Chile. 2014; Available:  
789 [http://data.worldbank.org/country/chile#cp\\_fin](http://data.worldbank.org/country/chile#cp_fin)  
790  
791  
792

Figure(s)

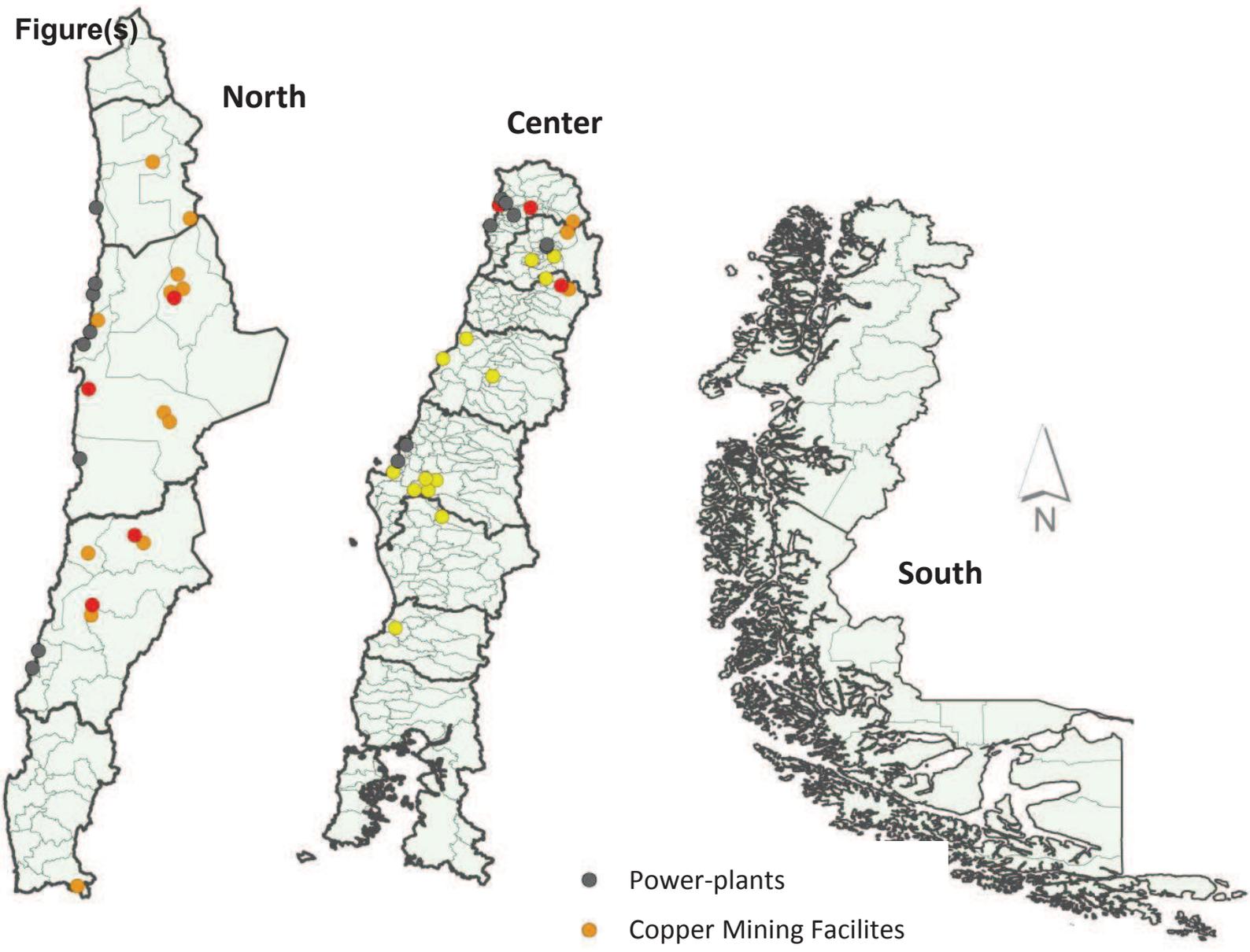
North

Center

South



- Power-plants
- Copper Mining Facilites
- Cellulose and Paper
- Copper Foundries





## Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional?

### Exposure to contaminants from coal-fired thermoelectric plants and children's health: What is the international and national evidence?

Sandra Cortés A.<sup>a,b,c,f</sup>, Karla Yohannessen V.<sup>a,c,d</sup>, Lidya Tellerías C.<sup>a</sup>, Ericka Ahumada P.<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Comité Salud Ambiental Infantil, Sociedad Chilena de Pediatría

<sup>b</sup>Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile

<sup>c</sup>Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

<sup>d</sup>Departamento de Pediatría y Cirugía Infantil, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

<sup>e</sup>Advanced Center for Chronic Diseases (ACCDIS)

<sup>f</sup>Centro de Desarrollo Sostenible (CEDEUS)

Recibido: 23 de mayo de 2018; Aceptado: 19 de noviembre de 2018

#### Resumen

Las centrales termoeléctricas (CTE) a carbón representan un riesgo para la salud de las comunidades expuestas. Se realizó una revisión de la literatura científica nacional e internacional enfocada en los efectos en salud de niños y la exposición a emisiones al aire provenientes de CTE a carbón. Se incluyeron 21 artículos para su revisión en texto completo, donde se midieron efectos en salud infantil relacionados a presencia de biomarcadores de exposición y efecto, daños perinatales, neuroconductuales y respiratorios principalmente. La exposición a emisiones de CTE a carbón en el embarazo se asoció a niños con bajo peso y muy bajo peso al nacer, menor talla, menor diámetro de Circunferencia del Cráneo (CC) y prematuridad; el diámetro de CC aumentó en recién nacidos después del cierre de CTE. Se encontraron menor coeficiente de desarrollo (CD) y coeficiente intelectual (CI) en niños expuestos a emisiones de CTE a carbón comparados con no expuestos; CD aumentó cuando la central fue cerrada. Por otro lado, vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (asociadas a CTE y plantas de cemento que funcionan con carbón) se asoció con mayor riesgo de autismo. En salud respiratoria, los artículos fueron consistentes en reportar menor función pulmonar en niños residentes en zonas expuestas a fuentes de combustión de carbón comparados con grupos de niños no expuestos. Es muy necesario abrir el debate en Chile sobre los riesgos controlables a los que se enfrenta la población infantil a consecuencia de plantas generadoras de energía instaladas en Chile.

#### Palabras clave:

Termoeléctricas;  
Carbón;  
Salud Infantil;  
Exposición

Correspondencia:

Karla Yohannessen V.

karlayohannessen@med.uchile.cl

Como citar este artículo: Rev Chil Pediatr 2019;90(1):102-114. DOI: 10.32641/rchped.v90i1.748

## Abstract

Coal-fired power plants (CFPP) represent a health risk to the exposed communities. A review of national and international scientific literature was made focused on the health effects on children and exposure to air emissions from CFPP. Twenty-one articles were included for full-text review, where effects on child health mainly related to the biomarkers presence of exposure and effect, perinatal, neurobehavioral and respiratory damages were measured. Exposure to CFPP emissions in pregnancy was associated with low birth weight and very low birth weight, shorter height, smaller head circumference (HC) diameter, and prematurity; the HC diameter increased in newborns after the CFPP closure. Lower coefficient of development (CD) and intelligence quotient (IQ) were found in children exposed to CFPP emissions compared with unexposed ones; CD increased when the plant was closed. On the other hand, living in areas with mercury emission sources (associated with CFPP and cement plants that work with coal) was associated with an increased risk of autism. In respiratory health, the articles were consistent with reporting lower pulmonary function in children living in areas exposed to coal combustion sources compared with groups of unexposed children. There is a great need to open the debate in Chile on the controllable risks faced by the child population as a result of power generation plants located in Chile.

## Keywords:

Thermoelectric Power Plants;  
Coal;  
Child Health;  
Exposure

## Introducción

Una central termoeléctrica (CTE) es una instalación empleada en la generación de electricidad a partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Las CTE, basadas en el uso de carbón representan un riesgo a la salud en comunidades expuestas; esos riesgos se incrementan si las tecnologías son deficientes en el control de emisiones y las poblaciones receptoras muestran condiciones de vulnerabilidad como pobreza, escaso acceso a salud y la presencia de grupos susceptibles como niños, embarazadas y adultos mayores.

Los principales contaminantes emitidos a partir de los procesos de una CTE son material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metales pesados como el mercurio (Hg); adicionalmente, las emisiones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son precursores en la atmósfera de ácido nítrico y sulfúrico<sup>1</sup>.

Los contaminantes del carbón afectan los principales órganos corporales y contribuyen en cuatro de las cinco principales causas de mortalidad en Estados Unidos: enfermedades cardíacas, cáncer, accidentes cerebro-vasculares y enfermedades crónicas respiratorias. En cada paso del ciclo de vida del carbón –extracción, transporte, lavado, combustión y desecho de residuos postcombustión– se producen emisiones que pueden influir en la salud de las personas. Se ha reportado que interfiere con el desarrollo pulmonar, incrementa el riesgo de infarto y afecta la capacidad intelectual, entre otros efectos<sup>2</sup>.

En Chile existe poca evidencia de daños en salud poblacional a pesar de que aún existen muchas insta-

laciones de CTE a carbón. La evidencia internacional muestra que los riesgos asociados a este tipo de fuentes son altos y con impactos a lo largo de todo el ciclo vital especialmente en niños menores de 15 años y embarazadas.

El objetivo de este estudio fue realizar una revisión de la literatura científica nacional e internacional que reporte efectos en salud en población menor de 18 años, asociados a la exposición a emisiones provenientes de CTE a carbón.

## Método

La búsqueda de publicaciones se realizó utilizando la base de datos bibliográficos electrónicos PubMed. Para la estrategia de búsqueda se consideró: exposición a contaminantes provenientes de CTE a carbón, efectos en salud de población general y menores de 18 años.

## Criterios de inclusión y exclusión de los estudios

Se incluyeron todo tipo de estudios epidemiológicos que contemplaran la medición de exposición de contaminantes generados por CTE a carbón y efectos en salud en población general y en menores de 18 años de edad, sin límite de fecha de publicación y publicaciones en idioma inglés, español o portugués.

Fueron excluidos los estudios relacionados con exposiciones por combustión de carbón doméstica u otra fuente de emisión y publicaciones sin acceso a texto completo desde la Biblioteca UC ([www.sibuc.cl](http://www.sibuc.cl)).

## Análisis crítico de los estudios

Los títulos identificados en la búsqueda fueron revisados de forma independiente por 2 de las autoras,

quienes seleccionaron citas relacionadas al objetivo de la revisión, descartando aquellas no asociadas al objetivo del estudio. Posteriormente, todas las autoras de forma independiente realizaron la revisión de los resúmenes para verificar su pertinencia con el objetivo y el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Cada autora completó esta evaluación en una planilla *ad hoc* y luego éstas fueron comparadas de forma cruzada para determinar los resúmenes elegibles para la revisión; cualquier discrepancia se resolvió mediante consenso. Después de esta primera etapa de selección, se accedió al texto completo de todos los artículos seleccionados para confirmar su elegibilidad y extraer la información pertinente.

Se elaboró una segunda planilla para realizar la extracción y síntesis de los resultados que incluyó información sobre la identificación de la publicación, método, población estudiada, definición de exposición y desenlace, principales resultados y limitaciones del estudio.

## Resultados

La figura 1 muestra el flujo de las publicaciones en la búsqueda y selección de artículos que permitieron responder al objetivo de esta revisión. Se destaca el es-

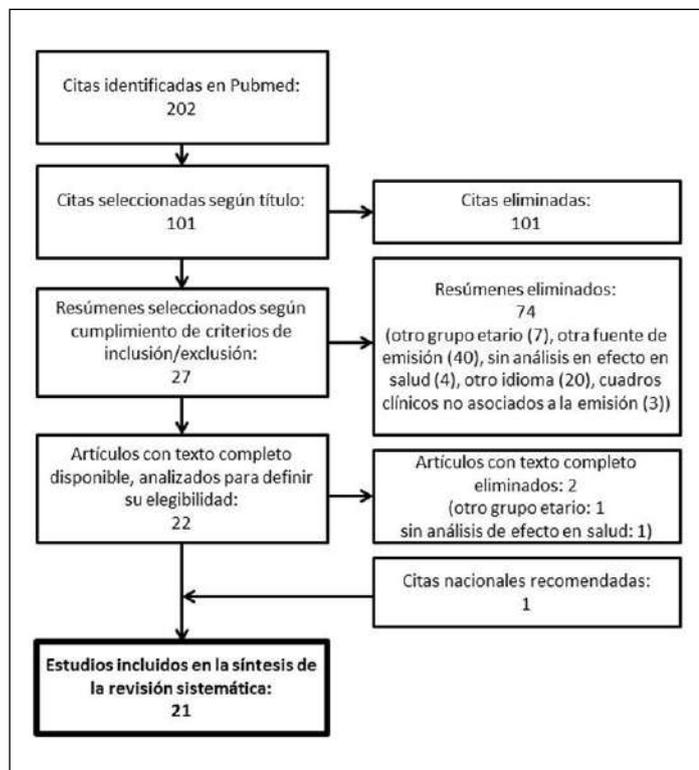


Figura 1. Flujo de la búsqueda y artículos incluidos en la revisión.

caso número de publicaciones científicas encontradas sobre esta temática. Por otro lado, una fracción importante de artículos fue excluido por no abordar el objetivo del estudio (101/202, 50%) o no cumplir los criterios de inclusión o exclusión (74/202, 36,6%).

La tabla 1 muestra los artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados. Se identificaron 4 aspectos asociados al daño en salud infantil: biomarcadores de exposición o efecto, efectos perinatales, desarrollo neurocognitivo y salud respiratoria.

Se presentan a continuación los principales hallazgos de la literatura.

## Biomarcadores

Los 5 estudios analizados fueron consistentes en el reporte de una mayor presencia de biomarcadores de exposición y de efecto temprano en las zonas expuestas cercanas a CTE con combustión a carbón, en comparación con zonas no expuestas.

Estudios de cohorte en los que se evaluaron mujeres no fumadoras con residencia dentro de 2,5 km de una CTE a carbón y sus recién nacidos, evaluados en el año 2002 y 2005, compararon biomarcadores moleculares de exposición y de efecto preclínico en sangre de cordón umbilical en relación a varios desenlaces del recién nacido (peso, talla, circunferencia craneana (CC), neurodesarrollo y Coeficiente Intelectual (CI)), antes y después del cierre de operaciones de una CTE. La cohorte de niños nacidos 2 años después del cierre de la planta mostró: aumento en la CC, reducción en el nivel de aductos de ADN y en los niveles sanguíneos y ambientales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), concentraciones más altas de proteína BDNF madura (mBDNF) y puntuaciones más altas del Coeficiente de Desarrollo (CD)<sup>3-7</sup>.

Estudios transversales evaluaron los niveles urinarios de metales pesados y 1-hidroxipireno (1-OHP) como biomarcadores de exposición, y 8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF2 $\alpha$  y 8-NO2Gua como biomarcadores de efecto temprano en niños de 9 a 15 años residentes en la cercanía de refinerías de petróleo y CTE a carbón. Se reportó que aquellos con residencia más cercana, tuvieron concentraciones ambientales elevadas de vanadio e HAP, altos niveles urinarios de 1-OHP y metales pesados y concentraciones más altas de los biomarcadores de estrés oxidativo en orina, en comparación con los sujetos de baja exposición<sup>8</sup>.

Otro estudio realizado en China con niños entre 1 a 13 años, reportó que niños que viven en comunidades de alta exposición tuvieron concentraciones urinarias de 1-OHP más altas que aquellos de comunidades de baja exposición, resultados consistentes al ajustar por edad, sexo, humo de tabaco ambiental, dieta y exposición al tráfico<sup>9</sup>.

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Yang M., 2017, EEUU	Transversal; 1990-2006	Estimar impacto de exposición prenatal a emisiones de CTE sobre peso al nacer	252.719 registros de nacidos vivos entre 1990 y 2006	Concentraciones de SO <sub>2</sub> y MP <sub>2.5</sub> diarios según distancia con CTE (hasta 20 millas) y dirección del viento	Bajo peso al nacer-BPN (< 2500 g), muy bajo peso al nacer-MBPN (< 1.500 g)	Nacidos de madres que viven 20 a 30 millas a sotavento de la CTE tienen 6,50% y 17,12% más riesgo de BPN y MBPN (p < 0,01) Para BPN, exposición significativa en el último mes de embarazo, y para MBPN para el último y penúltimo mes de embarazo El ↑ de 1.000 toneladas de emisiones mensuales de SO <sub>2</sub> (aprox 4% de la emisiones anual), en contra del viento, durante el final del embarazo ↑ el riesgo de BPN en 2,44%
Chen CH., 2017, Taiwan	Cohorte; 2009-2012	Identificar los cambios metabólicos que vinculan la exposición a tóxicos aéreos industriales con biomarcadores de estrés oxidativo	110 niños (9-15 años) residencia próxima a CTE. 2 grupos, según concentración de biomarcadores de exposición	Distancia desde hogares al principal punto de emisión de refineras de petróleo y CTE de carbón. Estimación de exposición externa a metales pesados y HAP	Niveles urinarios de metales pesados (V, Cr, Ni, Cu, As, Sr, Cd, Hg, Tl y Pb) y 1-OHP. Biomarcadores de estrés oxidativo en orina: 8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF <sub>2α</sub> y 8-NO <sub>2</sub> Gua. Identificación de picos potenciales de metabolitos	Niños expuestos con concentraciones más altas de orina de 8-OHdG (3.1 ± 2.52 vs 2.59 ± 2.78 µg/g-creatinina), HNE-MA (2.16 ± 2.7 vs 1.4 ± 2.3 µg/g-creatinina), 8-isoPGF <sub>2α</sub> (3.22 ± 3.4 vs 2.06 ± 2.14 µg/g-creatinina) y 8-NO <sub>2</sub> Gua (6.88 ± 11.93 vs 2.43 ± 2.97 µg/g-creatinina) Perfil de biomarcadores intermedios putativos asociados a marcadores de estrés oxidativo: 10 para 8-OHdG, 23 para HNE-MA, 11 para 8-isoPGF <sub>2α</sub> y 22 para 8-NO <sub>2</sub> Gua
Tang D., 2014, China	Cohorte; 2002-2005	Examinar la relación entre exposición prenatal a HAP y crecimiento y desarrollo fetal e infantil de acuerdo al cierre de una CTE a carbón (2004)	308 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto con residencia hasta 2.5 km desde la TE. 2 grupos: a) cohorte I - nacidos en 2002 (110); b) cohorte II - nacidos 2005 (107)	Exposición ambiental: HAP, B[a]P para 2002 y 2005 Dosis biológica: niveles de aductos de HAP-ADN	Al nacer: peso, longitud, circunferencia craneana (cc). Después del parto: fecha de alta, edad gestacional, sexo, complicaciones de embarazo y parto. Tasa de crecimiento: peso, estatura, circunferencia de cintura. Neurodesarrollo: Escala de Desarrollo Gesell (GSD), Cociente de Desarrollo (CD) en áreas: motora, adaptativa, lenguaje y social	Mayor cc en cohorte II, consistente con niveles reducidos de aductos de HAP-ADN de sangre y de HAP ambientales Menor frecuencias de retraso en neurodesarrollo en todas las áreas, excepto en el lenguaje, en cohorte II En cohorte I, aductos de cordón se asociaron inversamente a CD motor (B ajustado: -16,01) y promedio (B ajustado: -14,58) En cohorte II, aductos de cordón no se asociaron con CD (B: -12,38; p = 0,15) El % de sujetos categorizado como retrasado para el área motora fue menor en 2005 (4,1%) que en 2002 (88%) (p < 0,001)
Tang D., 2014, China	Cohorte; 2002-2005	Comparar biomarcadores moleculares de exposición y efectos preclínicos en sangre de cordón umbilical y desarrollo neurológico	308 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos. 2 grupos: a) cohorte 2002-antes del cierre (150); b) cohorte 2005- después del cierre (158)	Exposición ambiental: HAP de 72 h y B[a]P entre 2002 y 2003 y entre 2005 y 2006. Dosis biológica: Aductos de HAP-ADN y BDNFm en sangre de cordón umbilical	Niveles de biomarcadores y puntuaciones de CD en 4 dominios (motor, adaptativo, lenguaje y social) y promedio	Menores niveles de aductos de HAP-ADN y mayores concentraciones de mBDNF y de CD en cohorte 2005 Cohortes combinadas: aductos de HAP-ADN se asociaron inversamente con BDNFm y con CD motor (B = -10,70; p = 0,05), adaptativo (B = -16,47; p = 0,02) y promedio (B = -12,11; p = 0,01) Niveles de BDNFm se asociaron con CD motor (B = 2,12; p = 0,02), social (B = 3,22; p = 0,001) y promedio (B = 2,50; p = 0,02).

**Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)**

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang Q., 2013, China	Transversal; NI	Caracterizar la distribución y enriquecimiento de Elementos Ambientales Sensibles (ESES) y evaluar el riesgo de salud de niños expuestos a ESES	112 muestras de superficie de suelo	Concentraciones de ESES (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V y Zn) en muestras de suelo cercanas a una CTE	Riesgo carcinogénico y no carcinogénico	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI (p>0,05). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal (B= -10,35; p=0,03) y en escala completa (B= -10,10; p=0,03). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa (p=0,14). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, $\Sigma$ de 1 unidad (ln) de aducto de cordón correspondió a una $\Sigma$ de 9,4 pts de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una $\Sigma$ de 4,3 y 3,7 pts respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día.
Perera F., 2012, China	Cohorte; 2002-2007	Evaluar la relación entre dos exposiciones prenatales (HAP y humo de tabaco ambiental) y Cociente de Intelligencia (CI) infantil	100 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto, con residencia hasta 2,5 km desde la CTE 3 grupos exposición humo de tabaco: a) 0 hr/día; b) 0,5 hr/día; c) 1 hr/día	Exposición a HAP: aductos de ADN en glóbulos blancos de cordón umbilical. Exposición a humo de tabaco ambiental: entrevista personal	CI medido por Escala de Inteligencia Wechsler Preescolar y Primaria (verbal, de rendimiento y completa) a los 5 años de edad.	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu$ mol/mol-creatinina). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Blanchard KS., 2011, EEUU	Ecológico; 1996-2002	Asociar la distribución espacial de mercurio (Hg) con autismo en niños.	Datos agrupados de distritos escolares de Texas (con planta de cemento de horno de carbón y CTE a carbón) y California (con planta de cemento de horno de carbón)	Distribución espacial de Hg ambiental.	Autismo en el distrito escolar	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu$ mol/mol-creatinina). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Hu SW., 2011, China	Transversal; 2009	Evaluar las fuentes y los niveles urinarios de 1-OHP en niños que viven cerca de una CTE de carbón	369 niños (1 y 13 años). 2 de comunidades de alta exposición - < 5 km (234); 2 comunidades de baja exposición - > 5 km (135).	Análisis de HAPs de muestras de aire ambiental.	Concentración urinaria de 1-OHP.	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI (p>0,05). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal (B= -10,35; p=0,03) y en escala completa (B= -10,10; p=0,03). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa (p=0,14). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, $\Sigma$ de 1 unidad (ln) de aducto de cordón correspondió a una $\Sigma$ de 9,4 pts de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una $\Sigma$ de 4,3 y 3,7 pts respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día. Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu$ mol/mol-creatinina). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; periodo	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang Q., 2013, China	Transversal; NI	Caracterizar la distribución y enriquecimiento de Elementos Ambientalmente Sensibles (ESES) y evaluar el riesgo de salud de niños expuestos a ESES	112 muestras de superficie de suelo	Concentraciones de ESES (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V y Zn) en muestras de suelo cercanas a una CTE	Riesgo carcinogénico y no carcinogénico	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI ( $p>0,05$ ). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal ( $B=-10,35$ ; $p=0,03$ ) y en escala completa ( $B=-10,10$ ; $p=0,03$ ). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa ( $p=0,14$ ). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, $\square$ de 1 unidad (Ln) de aducto de cordón correspondió a una $\square$ de 9,4 ptos de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una $\square$ de 4,3 y 3,7 ptos respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día.
Perera F., 2012, China	Cohorte; 2002-2007	Evaluar la relación entre dos exposiciones prenatales (HAP y humo de tabaco ambiental) y Cociente de Intelligencia (CI) infantil	100 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto, con residencia hasta 2,5 km desde la CTE 3 grupos exposición humo de tabaco: a) 0 hr/día; b) 0,5 hr/día; c) 1 hr/día	Exposición a HAP: aductos de ADN en glóbulos blancos de cordón umbilical. Exposición a humo de tabaco ambiental: entrevista personal	CI medido por Escala de Inteligencia Wechsler Preescolar y Primaria (verbal, de rendimiento y completa) a los 5 años de edad.	Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI ( $p>0,05$ ). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal ( $B=-10,35$ ; $p=0,03$ ) y en escala completa ( $B=-10,10$ ; $p=0,03$ ). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa ( $p=0,14$ ). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, $\square$ de 1 unidad (Ln) de aducto de cordón correspondió a una $\square$ de 9,4 ptos de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una $\square$ de 4,3 y 3,7 ptos respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día.
Blanchard KS., 2011, EEUU	Ecológico; 1996-2002	Asociar la distribución espacial de mercurio (Hg) con autismo en niños.	Datos agrupados de distritos escolares de Texas (con planta de cemento de horno de carbón y CTE a carbón) y California (con planta de cemento de horno de carbón)	Distribución espacial de Hg ambiental.	Autismo en el distrito escolar	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estandar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 ( $p=0,04$ ). Para Texas, la correlación fue de 0,68 ( $p=0,01$ ). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$ ). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Hu SW., 2011, China	Transversal; 2009	Evaluar las fuentes y los niveles urinarios de 1-OHP en niños que viven cerca de una CTE de carbón	369 niños (1 y 13 años). 2 de comunidades de alta exposición - < 5 km (234); 2 comunidades de baja exposición - > 5 km (135).	Análisis de HAPs de muestras de aire ambiental.	Concentración urinaria de 1-OHP.	Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$ ). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.

**Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)**

Primer autor, año, país	Diseño; periodo	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang D., 2006, China	Cohorte; 2002-2005	Examinar la relación prenatal a HAP y el crecimiento y desarrollo fetal e infantil	150 mujeres no fumadoras (> 20 años) con residencia hasta 2,5 km de la CTE, y sus recién nacidos inscritos entre el 4 de marzo y el 19 de junio de 2002	Medición de aductos de ADN de B[a]P en sangre materna y cordón umbilical al momento del parto. Duración de la exposición intrauterina según n° de meses de embarazo superpuestos con el funcionamiento de la CTE (1 de diciembre de 2001 a 31 de mayo de 2002)	Peso, longitud y circunferencia craneana (cc) inmediatamente después del parto y cada 6 meses después de cumplir los 18 meses de nacido	Altos niveles aducto de HAP-DNA se asociaron con < cc al nacer y peso reducido a los 18-24-30 meses Aductos materno no se correlacionó con el nivel de aducto de sangre del cordón umbilical ni con crecimiento fetal e infantil En niñas, el nivel de aducto de sangre de cordón umbilical se asoció con < cc y < peso a los 18-24- 30 meses de edad y < longitud a los 18 meses. En niños, asociaciones inversas no significativas Mayor duración de la exposición prenatal se asoció con < longitud de nacimiento y < estatura de los niños a los 18- 24- 30 meses En ambos sexos, una mayor duración de la exposición se asoció con < longitud a los 18-24-30 ms. En modelo mixto hasta los 30 meses, el nivel de aducto se asoció con < peso ( $p = 0,02$ ) y con < cc ( $p = 0,07$ ) en la infancia
Mohorovic L., 2004, Croacia	Retrospectivo; 1987-1989	Definir período de gestación más crítico para efectos de tóxicos ambientales de parto prematuro (< 37 semanas) y bajo peso al nacer-BPN (< 2.500 g). Determinar correlación entre SO <sub>2</sub> y metahemoglobina en embarazadas	704 mujeres embarazadas con residencia dentro de 3,5 a 12 km de distancia desde la CTE	Exposición individual al final del 1°, 2°, 3° y 6° mes y el valor promedio de todo el embarazo. Embarazadas divididas según residencia alrededor de la CTE	Tiempo de gestación y peso al nacer. Concentración de hemoglobina y metahemoglobina materna	Correlación (-) significativa entre la exposición al SO <sub>2</sub> al final del 1° y 2° mes de embarazo y la duración de la gestación (final del primer mes: $r = -0,09$ ; $p = 0,01$ , final del segundo mes: $r = -0,08$ ; $p = 0,02$ ) y BPN (final del primer mes: $r = -0,08$ ; $p = 0,02$ , final del segundo mes $r = -0,07$ ; $p = 0,03$ ) Correlación (+) entre la concentración media de metahemoglobina materna y la concentración diaria de SO <sub>2</sub> ( $r = 0,72$ ; $p = 0,01$ ) En 1987 (4.772 h de funcionamiento de la CTE) hubo más nacimientos prematuros ( $p = 0,03$ ) y mayor RR (1,76) en relación con 1988 y 1989 (2.754 y 579 h de funcionamiento de la central respectivamente).
Sanchez J., 1999, Chile	Cohorte	Evaluar el efecto de la exposición de corto plazo a MP10 y SO <sub>2</sub> sobre la función pulmonar y síntomas respiratorios en niños que residen cerca de una fundición y refinería de cobre y una CTE	114 niños (6 a 12 años) 2 grupos: a) sintomáticos respiratorios crónicos (57); b) asintomáticos (57)	Medición diaria de MP10 y SO <sub>2</sub> en el aire	Medición diaria de Flujo Espiratorio Máximo (FEM) e incidencia de síntomas respiratorios (tos, expectoración, disnea, sibilancias, uso de broncodilatador)	↑ de 50 µg/m <sup>3</sup> de la media diaria de SO <sub>2</sub> produjo una ↓ del FEM 1,42 L/min (IC95%: -2,84 a -0,71) al día siguiente; y un ↑ de 30 µg/m <sup>3</sup> en la concentración acumulada de 3 días de MP10 produjo una ↓ de 2,84 L/min (IC95%: -4,26 a 0,00) ↑ de 30 µg/m <sup>3</sup> en la media semanal de PM10 se relacionó con ↑ de 26% (RP= 1,26; IC95%: 1,01 a 1,57) en incidencia de tos y de 23% (RP= 1,23; IC95%: 1,00 a 1,50) en incidencia de expectoración ↑ de 50 µg/m <sup>3</sup> en la media de 3 días de SO <sub>2</sub> se asoció a un ↑ de 5% (RP = 1,05; IC95%: 1,00 a 1,10) en incidencia de expectoración ↑ de 30 µg/m <sup>3</sup> en el promedio diario de PM10, ↑ el uso de broncodilatadores dos días más tarde en 10% (RP = 1,10; IC95%: 1,03 a 1,18) En grupo de asintomáticos: ↑ de 30 µg/m <sup>3</sup> en media diaria produjo una ↓ de 1,34 L/min (IC95%: -2,68 a -0,67) en el FEM del día siguiente y un ↑ similar en la exposición acumulada de tres días se asoció a un ↑ de 9% en incidencia de sibilancias (RP = 1,09; IC95%: 1,01 a 1,31)

**Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)**

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral)	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Goren A., 1995, Israel	Ecológico; 1982-1990	Evaluar el impacto en la salud de la población que vive cerca de una CTE de carbón	30.000 personas (adultos y niños) que viven hasta 19 km desde una CTE. 3 comunidades con exposición: alta, baja y media	Promedios diarios de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, hidrocarburos totales y parámetros meteorológicos	Uso de servicios de salud en 8 clínicas. Registro semanal de visitas diarias por médico y consultas por enfermedades respiratorias. Vigilancia diaria de casos de gripe	Tendencia estacional de >uso de la clínica pediátrica ambulatoria durante el invierno debido a quejas del tracto respiratorio Tendencia de ↓ moderada en el n° total de visitas, y en el n° de visitas por enfermedades respiratoria solo entre 1982 y 1984 ↑ en el n° total de episodios de alta contaminación (> n° episodios en comunidad de alta exposición vs ninguno en baja exposición)
Goren A., 1991, Israel	Cohorte; 1980-1986	Evaluar el efecto en la salud respiratoria de escolares que viven cerca de una CTE de carbón	3278 escolares de 2° (1.128) y 5° (1.157) grado en el año 1983	Escolares que viven en 3 comunidades con diferente nivel de exposición: alta, baja y media (< 19 km de distancia a la CTE)	Cambios en la función pulmonar: VEF1, CVF, PEF, síntomas y enfermedades respiratorias, desde 1983 a 1986	Cohorte de 2°, comunidad de baja exposición: la prevalencia de síntomas respiratorios ↓ en el tiempo; comunidad de exposición media: algunos síntomas fueron más frecuentes; comunidad con alta exposición: síntomas (tos con esputo) fueron más frecuentes (4,3% vs 13,8%). Enfermedades respiratorias ↓ en niños de baja y media exposición, en niños de alta exposición el asma fue más común (8,2% vs 16,2%) Cohorte de 5°, la mayoría de los síntomas respiratorios ↓ en la comunidad de baja exposición, en las otras comunidades la tendencia fue mixta. Las enfermedades respiratorias ↓ en la comunidad de baja exposición, en las otras el cambio en el tiempo fue mixto Para las dos cohortes, el ↑ anual en CVF y VEF1 fue mayor en la comunidad con alta contaminación (p < 0,01). En la cohorte de 2°, hubo un ↑ anual más bajo en CVF y VEF1 en comunidad con baja exposición, mientras que en la de 5° hubo un ↑ anual más bajo en la comunidad con exposición media ↑ anual de PEF en la cohorte de 2° no tuvo diferencias entre las tres comunidades. En la cohorte de 5° las diferencias fueron significativas solo entre los niños; el mayor incremento anual en PEF caracterizó a los niños con baja exposición
Goren A., 1988, Israel	Cohorte; 1980-1983	Evaluar el efecto en la salud respiratoria de escolares antes (1980) y después (1983) de la entrada en operación de una CTE de carbón	1990 escolares de 2° (991) y 5° grado (999) en el año 1980 y 1788 escolares de 5° (1090) y 8° grado (698) en el año 1983.	Escolares que viven en 3 comunidades con diferente nivel de exposición: alta, baja y media (< 19 km de distancia a la TE)	Función pulmonar: VEF1, CVF, PEF, síntomas y enfermedades respiratorias	En la cohorte de 2° (5° en 1983) hubo un ↑ de la prevalencia de tos sin resfío, esputo sin resfío y tos con esputo; también hubo un ↑ de la prevalencia de sarampión y neumonía En la cohorte de 5° (8° en 1983) la mayoría de los síntomas respiratorios fueron menos frecuentes en 1983, solo esputo sin resfío fue más prevalente; también hubo un ↑ de la prevalencia de sarampión y neumonía Comunidad con baja exposición: alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte de 2°, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de neumonía en 1983. Comunidad con exposición media: alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte de 2°, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983. Comunidad con alta exposición: tendencia mixta en prevalencia de síntomas, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983 El incremento de CVF y VEF1, fue menor en ambas cohortes de alta exposición (p < 0,001) El incremento de PEF fue menor en la comunidad de alta exposición solo en la cohorte de 5° grado de 1980 (p < 0,001)

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Bencko V., 1977, Checoslovaquia	Transversal; NI	Evaluar función auditiva de niños expuestos a una CTE a carbón	107 niños (9 a 11 años) que vivían cerca de una CTE a carbón rico en As 2 grupos: a) expuesto(56); b) control (51)	Residencia cercana a CTE (grupo de exposición)	Examen otorrinolaringológico audiométrico y clínico	En conducción de aire, se encontraron pérdidas auditivas importantes a 125, 250 y 8000 Hz, especialmente en el rango de frecuencia más bajo ( $p < 0,05$ )  Grados significativos de pérdida auditiva en la conducción ósea especialmente para bajas frecuencias (125, 250, 500 Hz). Para altas frecuencias, solo 4000 Hz presentó una pérdida auditiva significativa ( $p < 0,05$ )  Grupo expuesto, versus control, presentó > tasa de amígdalas "ampliadas" (21,4% vs 5,9%) y "grandes" (16,1% vs 5,9%) y adenoides "grandes" (21,4% vs 7,8%) y flujo concomitante de flema-pus en la nasofaringe posterior (23,2% vs 9,8%)
Bencko V., 1977, Checoslovaquia	Transversal; 1971	Rastrear la carga corporal de As en una población no expuesta ocupacionalmente	45 niños (9-11 años), que residían en una región contaminada por As. 2 grupos: a)expuestos (20); b) control (25)	Distancia entre la residencia y la CTE	Determinación de As en muestras de cabello, orina y sangre	Mayores concentraciones de As en pelo y orina en comunidades más próximas a la CTE. Comunidad a 1,5 km de la fuente presentó 3,19 ug/g de As en cabello vs la comunidad de 36 km que presentó 0,30 ug/g. Concentración en orina fue 0,019 y 0,008 mg/lt respectivamente  Considerable variabilidad entre valores individuales de As en cabello hace que el examen en grupo sea una necesidad. Lo mismo se aplica al muestreo de orina y sangre, que se complica por dificultades técnicas
Bencko V., 1971, Checoslovaquia	Transversal; NI	Estudiar niveles observados de As en cabello con distancia de residencias a la fuente	186 niños (10 años) que viven a menos de 10 km de la CTE	Distancia entre la residencia y la CTE	Concentración de As en cabello	Mayor proporción de valores medios (>1,5 ppm) y altos (> 3,0 ppm) de las concentraciones individuales de As en cabello en los grupos expuestos vs control  Gran variabilidad en los valores medios y desviaciones estándar de concentraciones de As en el cabello en relación a la distancia de vivienda a la fuente de emisión

### Alteraciones perinatales

Los 4 estudios analizados reportaron que la exposición en el embarazo, evaluada a través de la distancia desde la residencia a las emisiones de CTE a carbón, se asoció a recién nacidos (RN) con bajo y muy bajo peso (BP y MBP, respectivamente), menor talla al nacimiento, gestación más corta y menor diámetro de CC. En el estudio realizado por Tangs y cols. se reporta que la CC aumentó en niños nacidos después del cierre de la CTE<sup>4,10-12</sup>.

Yang (2017) estudió el impacto de la exposición prenatal a las emisiones de CTE a carbón sobre el peso al nacer en Estados Unidos entre 1990 y 2006 (252.719 RN), reportando que los nacidos de madres que viven a una distancia de 5 km aproximadamente de la CTE tienen un mayor riesgo de BP (6,5%) y MBP (17,1%)<sup>10</sup>.

Mohorovic (2004) estudió embarazadas categorizadas según la distancia de su residencia a una CTE a carbón en Croacia, definiendo zonas concéntricas alrededor de ésta (entre 3,5-12 km). Sus hallazgos evidenciaron que una exposición mayor y más prolongada a emisiones de SO<sub>2</sub> durante los 2 primeros meses de embarazo resultó en una gestación significativamente más corta y en menor peso al nacer<sup>11</sup>.

En China, fueron desarrollados dos estudios prospectivos que analizaron efectos perinatales de la exposición a la emisión de una CTE ubicada a menos de 5 km de distancia de la vivienda de mujeres durante el embarazo. El primero de éstos reportó que los hijos de madres que vivían cerca de la CTE se caracterizaban por menor CC y menor peso en los meses posteriores al nacimiento. Una exposición más prolongada en el embarazo se asoció con menor talla al nacer y a los 18, 24 y 30 meses de edad ( $p < 0,001$ )<sup>12</sup>. Posteriormente, los mismos autores, compararon resultados entre esta cohorte (nacidos durante el funcionamiento de la central) y una nueva (nacidos después del cierre de la central), entre los resultados se destacó un mayor CC para aquellos niños nacidos posterior al cierre de CTE de carbón ( $p < 0,001$ )<sup>4</sup>.

### Desarrollo neurocognitivo

Los artículos incluidos en la revisión apuntan a una disminución del CD y CI en los niños expuestos a emisiones de CTE a carbón, comparados con niños no expuestos.

Seis estudios evaluaron los efectos de la exposición a contaminantes emitidos por CTE a carbón sobre el desarrollo neurocognitivo: 5 de ellos se basaron en registros de una cohorte de niños cuyas madres desde el inicio del embarazo residían cerca de CTE de Tongliang, China. En 4 de estos estudios el seguimiento consideró el periodo desde el embarazo hasta 2 años de edad, y solo un estudio hasta los 5 años<sup>3-4,6,7,13,14</sup>.

Tras el seguimiento de 2 años a los nacidos el año

2002, con la central en pleno funcionamiento, se evaluó la Pauta de Desarrollo Gesell para determinar el CD en 4 dominios (motor, adaptativo, lenguaje y social). Se observó una disminución en CD motor y en el promedio de todos los dominios asociados a una mayor concentración de biomarcadores para HAP en sangre del cordón umbilical, mientras, el CD social se asoció negativamente con las concentraciones de plomo en sangre del cordón umbilical, ambas sustancias detectadas en las emisiones de la CTE a carbón<sup>7</sup>. Un estudio posterior comparó los resultados de CD de la misma cohorte con otros nacidos en 2005, tras el cierre de CTE. En dicho estudio se encontró una reducción significativa de biomarcadores para HAP en sangre de cordón umbilical de niños de la cohorte de 2005, encontrándose una asociación inversa entre la concentración de biomarcadores y el CD en el dominio motor y en el promedio para la cohorte más vieja, relación no observada en la cohorte más nueva<sup>13</sup>.

A los 5 años de edad de los niños de la cohorte se evaluó el CI mediante la Escala de Inteligencia Wechsler preescolar y primaria, en ella se consideraron 3 escalas: verbal, de rendimiento y completa. Ni los aductos de ADN ni la exposición al humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos principales sobre el CI. Sin embargo, hubo interacciones significativas entre aductos y humo de tabaco ambiental en la escala completa ( $p = 0,025$ ) y en el área verbal ( $p = 0,029$ ), lo que indica que los efectos adversos de la exposición prenatal a HAP aumentaron a medida que aumentaba la exposición al humo de tabaco ambiental<sup>6</sup>.

En la cohorte de niños no expuestos a las emisiones de la central (nacidos el 2005) se reportaron concentraciones más altas de la proteína mBDNF y mayores puntuaciones de CD a los 2 años de edad<sup>3</sup>. Otro estudio destacó que las frecuencias de retraso en el neurodesarrollo en casi todas las áreas (excepto lenguaje), se redujeron en la cohorte 2005 en comparación con la del 2002<sup>4</sup>.

Un estudio ecológico realizado en Estados Unidos, analizó la distribución espacial de autismo en relación a la contaminación ambiental por mercurio. Los autores reportaron mayor riesgo de autismo para zonas con fuentes de emisión de mercurio (CTE carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y los niveles de mercurio en el aire ambiente para California fue de 0,38 ( $p = 0,04$ ), mientras que para Texas fue de 0,68 ( $p = 0,01$ ). Debe considerarse este resultado con cautela, dado las limitaciones propias de los estudios ecológicos<sup>14</sup>.

### Salud respiratoria

Del total de estudios incluidos, se reportan cambios en la función pulmonar, síntomas respiratorios y consultas ambulatorias por causas respiratorias.

Los estudios que evaluaron los efectos en la función pulmonar utilizaron principalmente el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1), la Capacidad Vital Forzada (CVF) y el Flujo Espiratorio Máximo (PEF), y se enfocaron en efectos de largo plazo. El estudio de Dubnov J. et al. (2007), enfocado en evaluar el efecto de la exposición a largo plazo de la contaminación proveniente de CTE a carbón sobre el desarrollo de la función pulmonar en una cohorte de escolares de 2°, 5° y 8° grado según su residencia seguidos entre 1996 y 1999, reportó que la concentración de NO<sub>2</sub> tuvo un efecto negativo significativo tanto en  $\Delta$ VEF1 como en  $\Delta$ CVF, lo que significa que a mayor exposición existe un menor crecimiento de la función pulmonar. Por otro lado, el efecto de la interacción NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> en  $\Delta$ VEF1 fue negativo y más fuerte que la variable NO<sub>2</sub> por sí sola. Además, al excluir la variable contaminación se redujo el poder explicativo de los modelos en 6% y 10%, lo que confirma que la contaminación explica las variables de efecto estudiadas<sup>15</sup>.

El estudio de Yogev-Baggio et al. (2010) corresponde a la misma cohorte anteriormente descrita, pero en este reporte se muestra un análisis según estado de salud de los escolares (sanos, sintomáticos respiratorios y asmáticos). En cuanto al estado de salud entre 1996 y 1999 se destaca que el porcentaje de niños sanos disminuyó y el de sintomáticos aumentó en todas las áreas de exposición estudiadas (siendo de mayor magnitud en la de alta exposición). Se observaron diferencias significativas en el  $\Delta$ VEF1 de los 3 grupos según área de contaminación (aunque a mayor contaminación, mayor disminución  $\Delta$ VEF1) y el efecto de la interacción NO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub> en  $\Delta$ VEF1 fue negativa y significativa para todos los niños, y grupo de sanos y sintomáticos ( $p < 0,01$ ), esto implica que los niveles crecientes de contaminación tienen un efecto negativo significativo en el crecimiento de la función pulmonar<sup>16</sup>.

Goren et al. (1988 y 1991) evaluaron la función pulmonar en escolares que viven cerca de CTE a carbón donde las primeras mediciones se realizaron antes de que la central comenzara a funcionar (1980) y 3 y 6 años después (1983 y 1986). Los escolares se clasificaron en comunidades con alta, media y baja exposición. En el primer reporte se encontró que el incremento de CVF y VEF1 fue menor en ambas cohortes en la comunidad de alta exposición y que el incremento de PEF fue menor en la comunidad de alta exposición solo en la cohorte de 5° grado (8° en 1983). En el segundo reporte, se encontró un aumento anual en CVF y VEF1 mayor en la comunidad con alta contaminación. La cohorte de 2° en 1983, tuvo un aumento anual menor en CVF y VEF1 en la comunidad con baja exposición, mientras que la cohorte 5° en 1983 tuvo un aumento anual menor en la comunidad con exposición media,

por otro lado el aumento anual de PEF en la cohorte de 2° no tuvo diferencias entre las tres comunidades<sup>17,18</sup>.

Al evaluar sólo síntomas, el primer reporte (1988) mostró que la cohorte de 2° (5° en 1983) tuvo un aumento significativo de la prevalencia de tos sin resfriado. En la cohorte de 5° (8° en 1983) la mayoría de los síntomas respiratorios fueron menos frecuentes en 1983. Con respecto a las comunidades según exposición, el grupo con baja exposición tuvo alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte más joven y en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de neumonía en 1983, el grupo con exposición media tuvo alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte más joven y en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983, y el grupo con alta exposición tuvo tendencia mixta en la prevalencia. En el segundo reporte (1991), en el grupo de baja exposición la prevalencia de la mayoría de los síntomas respiratorios se redujo cuando los niños crecieron, en el grupo de exposición media algunos síntomas fueron más frecuentes, y en el grupo con alta exposición los síntomas fueron significativamente más frecuentes<sup>17,18</sup>.

Un estudio ecológico realizado en Israel estableció aumentos en las consultas pediátricas respiratorias en la población expuesta a una CTE, asociados a aumentos de la contaminación del aire<sup>19</sup>.

### Otros desenlaces en salud

En población infantil se han reportado otros daños, entre ellos, pérdidas auditivas en niños que vivían próximos a una CTE a carbón al compararlos con niños no expuestos; los mismos autores reportaron mayores niveles de arsénico en muestras biológicas en los niños expuestos; destacan la variabilidad de estos biomarcadores<sup>20-22</sup>.

### Conclusiones

La revisión de la literatura para dar respuesta al objetivo planteado, incluyó la revisión de 21 artículos de texto completo que fueron pertinentes al objetivo y cumplieron los criterios de inclusión y exclusión.

Los estudios incluidos que evaluaron biomarcadores fueron consistentes en el reporte de un aumento en el nivel de biomarcadores de exposición y de efecto en salud en zonas expuestas cercanas a instalaciones que funcionan con combustión a carbón en comparación con zonas no expuestas.

En relación a las alteraciones perinatales, los estudios reportaron que la exposición a emisiones de CTE a carbón en el embarazo se asoció a niños con BP y MBP al nacer, menor talla, menor diámetro de CC y prematuridad. Por otro lado, el diámetro de CC aumentó en los niños nacidos después del cierre de CTE.

Con respecto al desarrollo cognitivo se encontró tanto un CD y CI inferior en los niños expuestos a emisiones de CTE a carbón comparados con no expuestos, y un aumento del CD en una cohorte de niños que creció cuando la central se había cerrado. Por otro lado, vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (CTE y plantas de cemento que funcionan con carbón) se asoció con un mayor riesgo de autismo.

En salud respiratoria, los artículos fueron consistentes en reportar un menor desarrollo de la función pulmonar a largo plazo en niños residentes en zonas expuestas a fuentes de combustión de carbón comparados con grupos de niños no expuestos. Otros estudios reportaron una mayor frecuencia de síntomas respiratorios (tos, sibilancias y dificultad para respirar), mayor prevalencia de sarampión y neumonía, y más diagnósticos de asma en los niños que viven en las comunidades expuestas comparados con menor o sin exposición.

Existe una fuerte preocupación de la comunidad científica con respecto a la exposición a CTE a carbón y efectos en la salud infantil. Esta revisión encontró diversos efectos en la salud infantil relacionados con la presencia de biomarcadores de exposición y efecto, efectos perinatales, neuroconductuales y respiratorios principalmente. Es de suma urgencia el desarrollo de

estudios enfocados en este tema de alta sensibilidad y de alto impacto en salud pública, destacándose que hasta ahora sólo existe limitada evidencia generada por Ruiz-Rudolph et al. (2016) quienes demostraron que la presencia de grandes instalaciones (entre ellas CTE a carbón y petróleo, fábricas de pastas de celulosa, mineras y fundiciones de cobre) aumentaban las tasas de mortalidad y morbilidad, en un rango de 20 a 100% en aquellas comunas que tenían megafuentes con respecto a las comunas sin este tipo de exposición<sup>23</sup>.

Es perentorio abrir en Chile el debate sobre los riesgos controlables a los que se enfrenta la población infantil a consecuencia de plantas generadoras de energía instaladas en Chile.

### Agradecimientos

Las autoras expresan su agradecimiento a la Sociedad Chilena de Pediatría y a Chile Sustentable por facilitar las condiciones necesarias para realizar esta investigación y por proveer información ambiental de interés.

### Conflicto de interés

Las autoras declaran no tener conflicto de interés.

### Referencias

- Health and Environment Alliance (HEAL). Boosting health by improving air quality in the Balkans. Published Diciembre 2017 [revisado el 19 de enero de 2018]. Disponible en [https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017\\_-\\_boosting\\_health\\_by\\_improving\\_air\\_quality\\_in\\_the\\_balkans\\_ied\\_briefing.pdf](https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017_-_boosting_health_by_improving_air_quality_in_the_balkans_ied_briefing.pdf).
- Gohlke, J. M., et al. Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption. *Environ Health Perspect.* 2011;119(6):821-6.
- Tang D, Lee J, Muirhead L, et al. Molecular and neurodevelopmental benefits to children of closure of a coal burning power plant in China. *PLoS ONE.* 2014;9(3):e91966.
- Tang D, Li TY, Chow JC, et al. Air pollution effects on fetal and child development: a cohort comparison in China. *Environ Pollut.* 2014;185:90-6.
- Tang Q, Liu G, Zhou C, Zhang H, Sun R. Distribution of environmentally sensitive elements in residential soils near a coal-fired power plant: potential risks to ecology and children's health. *Chemosphere.* 2013;93(10):2473-9.
- Perera F, Li TY, Lin C, Tang D. Effects of prenatal polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and environmental tobacco smoke on child IQ in a Chinese cohort. *Environ Res.* 2012;114:40-6.
- Tang D, Li T, Liu JJ, et al. Effects of prenatal exposure to coal-burning pollutants on children's development in China. *Environ Health Perspect.* 2008;116(5):674-9.
- Chen C-HS, Yuan T-H, Shie R-H, Wu K-Y, Chan C-C. Linking sources to early effects by profiling urine metabolome of residents living near oil refineries and coal-fired power plants. *Environ Int.* 2017;102:87-96.
- Hu S-W, Chan Y-J, Hsu H-T, et al. Urinary levels of 1-hydroxypyrene in children residing near a coal-fired power plant. *Environ Res.* 2011;111(8):1185-91.
- Yang M, Bhatta RA, Chou S-Y, Hsieh C-I. The Impact of Prenatal Exposure to Power Plant Emissions on Birth Weight: Evidence from a Pennsylvania Power Plant Located Upwind of New Jersey. *J Policy Anal Manage.* 2017;36(3):557-83.
- Mohorovic L. First two months of pregnancy-critical time for preterm delivery and low birthweight caused by adverse effects of coal combustion toxics. *Early Hum Dev.* 2004;80(2):115-23.
- Tang D, Li T, Liu JJ, Chen Y, Qu L, Perera F. PAH-DNA adducts in cord blood and fetal and child development in a Chinese cohort. *Environ Health Perspect.* 2006;114(8):1297-300.
- Perera F, Li T, Zhou Z, et al. Benefits of reducing prenatal exposure to coal-burning pollutants to children's neurodevelopment in China. *Environ Health Perspect.* 2008;116(10):1396-400.
- Blanchard KS, Palmer RF, Stein Z. The value of ecologic studies: mercury concentration in ambient air and the risk of autism. *Rev Environ Health.* 2011;26(2):111-8.
- Dubnov J, Barchana M, Rishpon S, et al. Estimating the effect of air pollution from a coal-fired power station on the development of children's pulmonary function. *Environ Res.* 2007;103(1):87-98.
- Yogev-Baggio T, Bibi H, Dubnov J, Or-Hen K, Carel R, Portnov BA. Who is affected more by air pollution-sick or healthy? Some evidence from a health survey of schoolchildren living in the vicinity of a coal-fired power plant in Northern Israel. *Health Place.* 2010;16(2):399-408.
- Goren AI, Helman S, Goldsmith JR. Longitudinal study of respiratory conditions among schoolchildren in Israel: interim report of an epidemiological monitoring program

- in the vicinity of a new coal-fired power plant. *Arch Environ Health*. 1988;43(2):190-4.
18. Goren AI, Goldsmith JR, Hellmann S, Brenner S. Follow-up of schoolchildren in the vicinity of a coal-fired power plant in Israel. *Environ Health Perspect*. 1991;94:101-5.
19. Goren AI, Hellmann S, Glaser ED. Use of outpatient clinics as a health indicator for communities around a coal-fired power plant. *Environ Health Perspect*. 1995;103(12):1110-5.
20. Bencko V, Dobišová A, Máčaj M. Arsenic in the hair of a non-occupationally exposed population. *Atmospheric Environment*. 1971;5(4):275-9.
21. Bencko V, Symon K, Chládek V, Pihrt J. Health aspects of burning coal with a high arsenic content: II. Hearing changes in exposed children. *Environmental Research*. 1977;13(3):386-95.
22. Bencko V, Symon K. Health aspects of burning coal with a high arsenic content: I. Arsenic in hair, urine, and blood in children residing in a polluted area. *Environmental Research*. 1977;13(3):378-85.
23. Ruiz-Rudolph P, Arias N, Pardo S, et al. Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study. *Environ Int*. 2016;92-93:130-8.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

DEPARTAMENTO SALUD PÚBLICA / FACULTAD DE MEDICINA

## **Informe Final**

# **“Daños en salud asociados a la exposición a centrales termoeléctricas a carbón en la zona norte de Chile: Análisis de datos secundarios”**

### **Equipo de trabajo:**

**Sandra Cortés**, MV, Mg Sc, Dra. En Salud Pública. Departamento de Salud Pública, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Paola Viviani**, Dra. en Estadística. Departamento de Salud Pública, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**María José Ojeda**, Licenciada en Estadística y Computación. Universidad de Santiago de Chile.

**Cinthya Leiva**, Geógrafa, MPH. Departamento de Salud Pública, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**30 de Mayo del 2019**

## Índice de contenidos

I.	Resumen ejecutivo .....	4
II.	Antecedentes.....	6
	Objetivo General .....	7
III.	Material y Métodos .....	8
	3.1 Procesamiento y análisis de información secundaria de salud .....	9
	3.2 Cálculo de Tasas Base .....	12
	3.3 Razón de tasas de mortalidad estandarizadas (RME) .....	13
	3.4 Razón de tasas de morbilidad estandarizadas (RMorbilidadE).....	14
	3.5 Comunas seleccionadas según exposición a Centrales Termoeléctricas a Carbón.....	15
IV.	Resultados.....	19
	4.1 Mortalidad general.....	20
	4.1 Mortalidad general por grupos de edad .....	22
	4.3 Mortalidad por causas específicas.....	24
	4.3.1 Mortalidad por Enfermedad Cardiovascular (CIE 10: I00-I09).....	24
	4.3.2 Mortalidad por Enfermedades Cerebrovasculares (CIE 10: I60-I69).....	26
	4.3.3 Mortalidad por Enfermedad Isquémica del Corazón (CIE 10: I20-I25) .	28
	4.3.4 Mortalidad por Enfermedades del Sistema Respiratorio (CIE 10: J00-J99)	30
	4.3.5 Mortalidad por Tumores Malignos de Tráquea, Bronquios y Pulmón (CIE 10: C33-C34).....	32
	4.4 Razón de Mortalidad Estandarizada (RME) .....	34
	4.5 Morbilidad general.....	40
	4.5 Morbilidad general por grupos de edad .....	42
	4.5 Morbilidad por causas específicas .....	44
	4.7.1 Morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio (CIE 10: J00-J99).....	44
	4.7.2 Morbilidad por egresos hospitalarios debidos a enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores (CIE 10: J40-J44).....	46
	Morbilidad por egresos hospitalarios por asma (CIE 10: J45-J46) .....	48
	4.7.4 Morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda (CIE 10: J20-J21) .....	50
	4.7.5 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares (CIE 10: I60-I69).....	52
	4.7.6 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio (CIE 10: I00-I99).....	54
	4.7.7 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón (CIE 10: I20-I25) .....	56
	4.6 Razón de Morbilidad Estandarizada (RMorbilidadE).....	58
V.	Discusiones y conclusiones.....	66

<b>VI. Bibliografía .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. Anexos .....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 1: Tasas de mortalidad general y específicas para Chile y las regiones de Antofagasta, Atacama, años 2006, 2011 y 2016 .....</b>	<b>70</b>
<b>Anexo 2: Tasas de mortalidad general y específicas para las comunas de estudio, periodo 2006-2016.....</b>	<b>72</b>
<b>Anexo 3: Tasas de mortalidad perinatal .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 4: Tasas de mortalidad general y específicas por grupos de edad para Chile y las regiones de estudio.....</b>	<b>76</b>
<b>Anexo 5: Tasas de morbilidad general y específicas para Chile y las regiones de referencias, años 2006, 2011 y 2016 .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo 6: Tasas de morbilidad general y específicas para las comunas de estudio, periodo 2006-2016.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 7: Tasas de morbilidad perinatal .....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo 8: Tasas de morbilidad general y específicas por grupos de edad para Chile y las regiones de estudio.....</b>	<b>92</b>

## I. Resumen ejecutivo

En Chile, operan Centrales Termoeléctricas a Carbón (en adelante, Centrales Termoeléctricas a Carbón-CTEC), las cuales generan diversas repercusiones en la salud de la población. Entre estas consecuencias, se reportan efectos en el desarrollo pulmonar, incremento en el riesgo de infarto y efectos en la capacidad intelectual. En el caso de los niños, se han estudiado los efectos tales como alteraciones perinatales, disminución del cociente del desarrollo y cociente de inteligencia, menor desarrollo de la función pulmonar, mayor frecuencia de síntomas respiratorios (tos, sibilancias y dificultad para respirar), mayor prevalencia de neumonía, entre otros.

En el país no se tiene conocimiento respecto a la situación actual de la salud poblacional en los distintos territorios donde operan las CTEC. En ese sentido, el objetivo de este estudio fue *evaluar efectos en salud cardiovascular, respiratoria y cáncer, tanto según mortalidades y morbilidades, en personas que viven en comunas en las que operan centrales termoeléctricas a carbón (CTEC) de manera exclusiva, comparadas con otras que tienen complejos industriales y otras que no tienen estas instalaciones en su territorio.*

Se definieron según literatura internacional aquellos indicadores de salud asociados a contaminación del aire que permitieran conformar una línea base del estado de salud de la población en regiones donde se identificaron comunas expuestas a CTEC o a parques industriales vs comunas no expuestas. En la Región de Antofagasta se evaluaron Tocopilla (Expuesta a CTEC exclusiva) Mejillones (Expuesta a CTEC no exclusiva) vs Caldera (No expuesta). En la región de Atacama se estudió Huasco (Expuesta a CTEC exclusiva) vs Caldera (No expuesta).

Los indicadores seleccionados se calcularon según las estadísticas de mortalidad y según los egresos hospitalarios como indicadores de morbilidad; en ambos casos se usó la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima versión (CIE-10). Se calcularon para todas las comunas de estudio las tasas de mortalidad y de morbilidad como insumo para establecer indicadores de riesgo mediante el uso de Razones de Tasas de Mortalidad Estandarizadas (RME) y Razones de Tasas de Morbilidad Estandarizadas (RMorbilidadE), las que proveen una estimación del riesgo relativo, ajustado por la distribución de edad, de la población de las comunas estudiadas en relación al riesgo de

la población del país o respectiva región. En cualquiera de los indicadores, un valor RME o RMorbilidadE superior a 1 indica que el riesgo de morir o de tener un egreso hospitalario en la población observada es más alto que el esperado si hubiera tenido la misma experiencia o riesgo que la población estándar. Al contrario, una RME inferior a 1 indica que el riesgo de morir fue inferior en la población observada que lo esperado si su distribución fuera la de la población de referencia.

En las comunas estudiadas, el riesgo de morir por cualquier causa es mayor en la comuna de Tocopilla con CTEC (22%). Destaca un mayor riesgo significativo, respecto al país y región, de muertes por causa cardiovascular y cerebrovascular en Huasco.

Respecto a los egresos hospitalarios, las comunas de Huasco y Tocopilla muestran mayores riesgos de enfermar que Chile y sus respectivas regiones, tanto al considerar egresos hospitalarios en general como egresos por morbilidades específicas, especialmente las asociadas a enfermedades respiratorias. Finalmente, Tocopilla también evidencia ser una comuna de riesgo para enfermedades del sistema circulatorio e isquemias del corazón.

Los resultados obtenidos deben ser tomados en cuenta como una primera aproximación al estado de salud de las comunidades evaluadas, establecido a partir de una metodología de investigación que utiliza datos de salud recolectados de manera rutinaria por la autoridad de salud. Sin embargo, tal como se señala en la sección de métodos, estos hallazgos sólo deben interpretarse a nivel agrupado con la salvedad de que no exploran varias otras condiciones que pueden afectar el resultado de salud medido, tanto en mortalidad como en morbilidad. Es necesario establecer una agenda de investigación más integral que pueda medir otros factores de riesgo y que permita evaluar el rol de cada una de las variables específicas para las alteraciones respiratorias y cardiovasculares identificadas como las más relevantes en la población.

## II. Antecedentes

El desarrollo económico en Chile, está en parte asociado al hecho de que el país sea escenario de grandes instalaciones industriales a lo largo del territorio. Estas grandes instalaciones industriales son conocidas por emitir grandes cantidades de sustancias potencialmente tóxicas, tanto en el entorno laboral, como en el entorno general. Entre las sustancias que se emiten al entorno, gran parte de ellas se transmiten a través de diversas vías a las personas, generando impactos en la salud de la población (Ruiz et al. 2016).

Las centrales termoeléctricas son parte de las grandes industrias que se han instalado en el territorio nacional, muchas de ellas están basadas en el uso del carbón. Esto representa un potencial riesgo para la salud de las comunidades expuestas. De acuerdo a Cortés et al. (2019), durante el ciclo de vida que tiene el carbón desde la extracción hasta los desechos de su postcombustión, se generan diversas emisiones, algunas del tipo de partículas y otros gases, todas asociadas a daños en la salud de las personas.

En Chile existe poca evidencia de los daños en salud poblacional asociados a las CTEC, aun cuando se presentan 27 unidades de generación eléctrica a carbón, ubicadas concentradamente en 5 ciudades a lo largo del país. El año 2016, Ruiz et al. publicaron un estudio que estableció el impacto de varias mega-fuentes emisoras ubicadas en varias regiones de Chile, expresado con aumentos entre 20% y 100% en mortalidad y morbilidad por varias causas, entre ellas, por causas cardiovasculares, respiratorias y cáncer al comparar con otras comunas sin megafuentes emisoras.

Los daños en población infantil son más graves y manifiestos. Diversos estudios internacionales identifican alteraciones perinatales, disminución del cociente del desarrollo y cociente de inteligencia, menor desarrollo de la función pulmonar, mayor frecuencia de síntomas respiratorios (tos, sibilancias y dificultad para respirar), mayor prevalencia de neumonía, y más diagnósticos de asma en los niños que residen en las comunidades expuestas comparados con menor o sin exposición (Cortés et al, 2019).

## **Objetivo General**

Evaluar efectos en salud cardiovascular, respiratoria y cáncer, tanto según mortalidades y morbilidades, en personas que viven en comunas en las que operan centrales termoeléctricas a carbón (CTEC) de manera exclusiva, comparadas con otras que tienen complejos industriales y otras que no tienen estas instalaciones en su territorio.

### III. Material y Métodos

Se realizó un estudio epidemiológico de tipo ecológico, en el que se compararon series temporales de mortalidad y morbilidad y también se realizó una comparación geográfica a nivel comunal. Los estudios ecológicos tienen la ventaja de caracterizar el estado de salud de una comunidad usando datos agregados, esto es, comparando tasas de ocurrencia de un evento en salud. No obstante, lo anterior, hay que tener en cuenta que este diseño de estudio, tienen algunas limitantes, entre ellas se encuentra la llamada *“falacia ecológica, la cual se refiere al error que se comete cuando se aceptan asociaciones entre eventos cuando en realidad no existen, siguiendo el supuesto de que los resultados obtenidos a partir de un estudio ecológico serían los mismos que se obtendrán de un estudio basado en observaciones de individuos.”* Borja, V. (2000). Además, se debe tener cuidado ya que usualmente en estos estudios se asume que la exposición actual refleja la exposición en el pasado, y esto no necesariamente es así.

Los daños a evaluar fueron enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer. A partir de las bases de datos de salud disponibles, se calcularon tasas de mortalidad o de egresos y luego se calcularon indicadores de riesgo de mortalidad y morbilidad en las comunas de interés. Se utilizaron grupos de edades definidos en la literatura. Se considera un periodo de estudio de los últimos 10 años. Las comunas a comparar se identificaron a partir de información ambiental disponible y reportes de organizaciones no gubernamentales que presentaron antecedentes sobre termoeléctricas a carbón funcionando en Chile.

### 3.1 Procesamiento y análisis de información secundaria de salud

A partir de la revisión de la literatura sobre daños asociados en la salud por la exposición a contaminantes ambientales emitidos por centrales termoeléctricas a carbón, se definieron indicadores de salud que permiten conformar una línea base del estado de salud de la población de las comunas evaluadas. Se utilizaron las estadísticas vitales y los egresos hospitalarios como indicadores de mortalidad y morbilidad respectivamente. Todas estas bases de datos están disponibles en el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud (MINSAL). Las estadísticas sanitarias se destacan por ser eficientes dado su fácil acceso, bajo costo y disponibilidad para todos los centros de salud del país tanto públicos como privados.

Para identificar los indicadores de interés, se utilizó la Clasificación Internacional de Enfermedades en su décima versión (CIE-10)\* que realiza la codificación de las enfermedades para su análisis de manera estandarizada. Esta es una clasificación internacional de enfermedades de uso común para las estadísticas sanitarias según las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), las que fueron validada por el MINSAL desde el año 2008 (MINSAL, 2008).

Las estadísticas de mortalidad dan cuenta del número de muertes en un periodo y área geográfica definida. Las bases de datos utilizadas en este estudio correspondieron a muertes de acuerdo a las causas codificadas por CIE-10 por grupo de edad y sexo para las comunas en estudio, en los años 2006 a 2016.

Los siguientes indicadores de mortalidad se seleccionaron dado que están asociados a exposiciones a contaminantes de interés emitidos al aire por CTEC: Material Particulado (MP), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y metales pesados como el Mercurio (Hg) (HEAL, 2017).

\* (Para más información de la Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud, décima revisión, 2015: <http://www.deis.cl/wp-content/uploads/2013/08/Volume-1-CIE-10-2016-cha.pdf>).

**Tabla 1.** Indicadores de Mortalidad de acuerdo a clasificación CIE10 asociados a la exposición a contaminantes del aire.

Indicador de Mortalidad	Nombre común	Código CIE 10	Grupo etario	Contaminante
Mortalidad por todas las causas	Muerte	Todas las causas	Todas las edades	O3; MP2,5; MP10; NO2
Mortalidad por Enfermedad Cardiovascular	Muertes por enfermedades del corazón	I00-I99	Todas las edades	MP10; O3
Mortalidad por Enfermedades cerebrovasculares	Muerte por enfermedad de arterias o venas cerebrales	I60-I69	> 30 años	MP2,5; MP10
Mortalidad por Enfermedad Isquémica del corazón	Muerte por Infarto al corazón	I20-I25	Todas las edades	MP2,5; MP10; SO2
Mortalidad por Enfermedades del Sistema Respiratorio	Muerte por Enfermedad respiratoria	J00-J99	Todas las edades	O3; MP2,5; MP10
Mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón	Cáncer de pulmón	C33-C34	Todas las edades	Todos

*Fuente: Elaboración propia en base a Atkinson et al, 2012; Heroux et al, 2015 Zhang et al, 2014 Xie et al, 2016.*

Las estadísticas de morbilidad representan las atenciones de los establecimientos de la red de salud por diferentes enfermedades. Se utilizó la Base de Egresos Hospitalarios, las que se obtienen a partir del Informe Estadístico de Egreso Hospitalario cuyo reporte es obligatorio para todos los hospitales del territorio nacional. De esta base de datos se obtuvo la información estadística sobre el diagnóstico principal de hospitalización (codificación CIE-10) y variables asociadas de los establecimientos de salud. Las bases de datos disponibles se analizaron por grupo de edad y sexo para las comunas mencionadas anteriormente, en los años 2006 a 2016.

En los egresos hospitalarios, la unidad de análisis corresponde al egreso hospitalario en sí, y no al paciente individualizado, por tanto, un mismo individuo puede presentar más de un egreso hospitalario en el periodo analizado. En esta base de datos se recolecta la información de las personas según su comuna de residencia, dato registrado para cada uno de los egresos.

En la siguiente tabla se reportan los indicadores de Morbilidad que, según la literatura, están asociados a contaminantes emitidos por CTEC y otras fuentes.

**Tabla 2.** Indicadores de Morbilidad de acuerdo a clasificación CIE10 asociados a la exposición a contaminantes del aire.

<b>Indicador de Morbilidad</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Código CIE 10</b>	<b>Grupo edad</b>	<b>Contaminante</b>
Egresos hospitalarios Enfermedades sistema respiratorio	Egresos por enfermedades respiratorias	J00 - J99	Todas las edades	MP2,5, O3
Egresos hospitalarios Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	Egresos por enfermedades del pulmón	J40 - J44	Todas las edades	MP10, NO2
Egresos hospitalarios Asma	Egresos por Asma	J45 - J46	Todas las edades	MP10, NO2
Egresos hospitalarios Enfermedades cerebrovasculares	Egresos enfermedades de arterias y venas del cerebro	I60 - I69	Todas las edades	MP10, NO2
Egresos hospitalarios Enfermedades del sistema circulatorio	Egresos por enfermedades del corazón	I00 - I99	Todas las edades	MP10 y O3
Egresos hospitalarios Enfermedades isquémicas del corazón	Egresos por infarto al corazón	I20 a I25	Todas las edades	MP2,5
Egresos hospitalarios por Bronquitis o bronquiolitis aguda *	Bronquitis aguda	J20-J21	<18 años	MP10, NO2
Bajo peso al nacer , partos prematuros ***	Problemas parto	P07	< 1 año	MP10, SO2, NO2
Anormalidades congénitas ***	Malformaciones	P00-P04	< 1 mes	MP10, SO2, NO2

Fuente: Elaboración propia en base a Andersen et al, 2012, Heroux et al, 2015, Xie et al, 2016.

En este informe se excluyen los resultados específicos para daños y malformaciones en el grupo de menores de 1 año dada la calidad de las bases de datos disponible.

### 3.2 Cálculo de Tasas Base

A partir de los datos estadísticos ya señalados, se calcularon tasas de mortalidad y de morbilidad. Este análisis es la base para el cálculo de tasas específicas y para el cálculo de los indicadores de riesgo, detallados más adelante.

La tasa base indica el número de efectos (egresos hospitalarios o defunciones), por cada 10<sup>n</sup> personas, en este caso en particular en un año determinado.

Las tasas pueden obtenerse para población general o para algunos subgrupos según sexo o grupos de edad, y a su vez se pueden calcular para efectos totales o por causas específicas (CE).

En términos generales el procedimiento para el cálculo de tasas es el siguiente:

$$Tasa\ bruta = \frac{\text{número de efectos totales}}{\text{Población total}} \times 10.000$$

$$Tasa\ específica = \frac{\text{número de efectos en el subgrupo}}{\text{Población en el subgrupo}} \times 10.000$$

$$Tasa\ bruta\ por\ CE = \frac{\text{número de efectos por CE}}{\text{Población total}} \times 10.000$$

$$Tasa\ específica\ por\ CE = \frac{\text{número de efectos por CE en el subgrupo}}{\text{Población en el subgrupo}} \times 10.000$$

Donde el **número de efectos totales** corresponde a la cantidad total de egresos hospitalarios o defunciones, según corresponda, a lo largo de un año; el **número de efectos en el subgrupo** corresponde a la cantidad de egresos hospitalarios o defunciones, según corresponda, a lo largo de un año en un subgrupo determinado de edad, sexo, región y/o comuna. Del mismo modo el **número de efectos por causas específicas (CE)** corresponde a la cantidad de egresos hospitalarios o defunciones según corresponda, por alguna causa de interés específica. Dichos números de cada uno de los

eventos de interés se obtienen a partir de las bases homónimas, disponibles de libre acceso en la web ministerial del departamento de estadísticas e información en salud (DEIS).

Por su parte la **población total** (denominador) corresponde a la cantidad total de la población en el determinado año. Así mismo la **población en el subgrupo** corresponde a la cantidad total de la población, en el año, en un subgrupo determinado de edad, sexo, región y/o comuna. Esta información se obtuvo a través de las proyecciones de población realizadas por el Instituto Nacional de Estadística (INEb, 2017), a partir de los resultados del CENSO 2012, concordante con la metodología de cálculo de tasas realizada por el DEIS.

### **3.3 Razón de tasas de mortalidad estandarizadas (RME)**

Se calcularon Razones de Tasas de Mortalidad Estandarizadas (RME) a partir de las tasas base de mortalidad ya calculadas. La estandarización (o ajuste) de tasas es un método epidemiológico para remover el efecto de otras variables que pueden confundir los resultados (variables de confusión, por ejemplo, estructura etaria), permitiendo su comparación por años (tendencias en el periodo en estudio) o áreas de estudio (en este caso, comunas con diferente exposición a CTEC).

En el método indirecto de estandarización se utilizan tasas específicas estándares o de referencia aplicadas a las poblaciones que se quiere comparar, estratificadas por la variable que se quiere controlar. De esta manera se obtiene el total de casos esperados de los eventos de salud de interés. La estandarización por la variable edad se usa en la comparación de mortalidad, ya que la estructura de edad impacta en la probabilidad o riesgo de morir de un individuo.

Al dividir el total de casos observados por el número esperado se obtiene la razón de mortalidad estandarizada. Esta razón permite comparar cada población bajo estudio con la población de la cual provienen las tasas estándares. Se consideran las tasas a nivel país y región como tasas estándares para realizar el cálculo.

Para mejor comprensión de su significado se debe considerar lo siguiente:

Las Razones de Mortalidad Estandarizas (RME) proveen una estimación del riesgo relativo entre la población del país o región, y la población de las comunas estudiadas. **Una RME superior a 1 indica que el riesgo de morir en la población observada fue más alto que el esperado si hubiera tenido la misma experiencia o riesgo que la población estándar.** Al contrario, una RME inferior a 1 indica que el riesgo de morir fue inferior en la población observada que lo esperado si su distribución fuera la de la población de referencia.

### 3.4 Razón de tasas de morbilidad estandarizadas (RMorbilidadE)

Siguiendo la misma metodología explicada en el punto anterior, se calcularon Razones de Tasas de Morbilidad Estandarizadas (RMorbilidadE) a partir de las tasas base de morbilidad ya calculadas.

Las Razones de Morbilidad Estandarizas (RMorbilidadE) proveen una estimación del riesgo relativo entre la población del país o región, y la población de las comunas estudiadas.

**Una RMorbilidadE superior a 1 indica que el riesgo de enfermar en la población observada fue más alto que el esperado si hubiera tenido la misma experiencia o riesgo que la población estándar.** Al contrario, una RMorbilidadE inferior a 1 indica que el riesgo de enfermar fue inferior en la población observada que lo esperado si su distribución fuera la de la población de referencia.

### **3.5 Comunas seleccionadas según exposición a Centrales Termoeléctricas a Carbón**

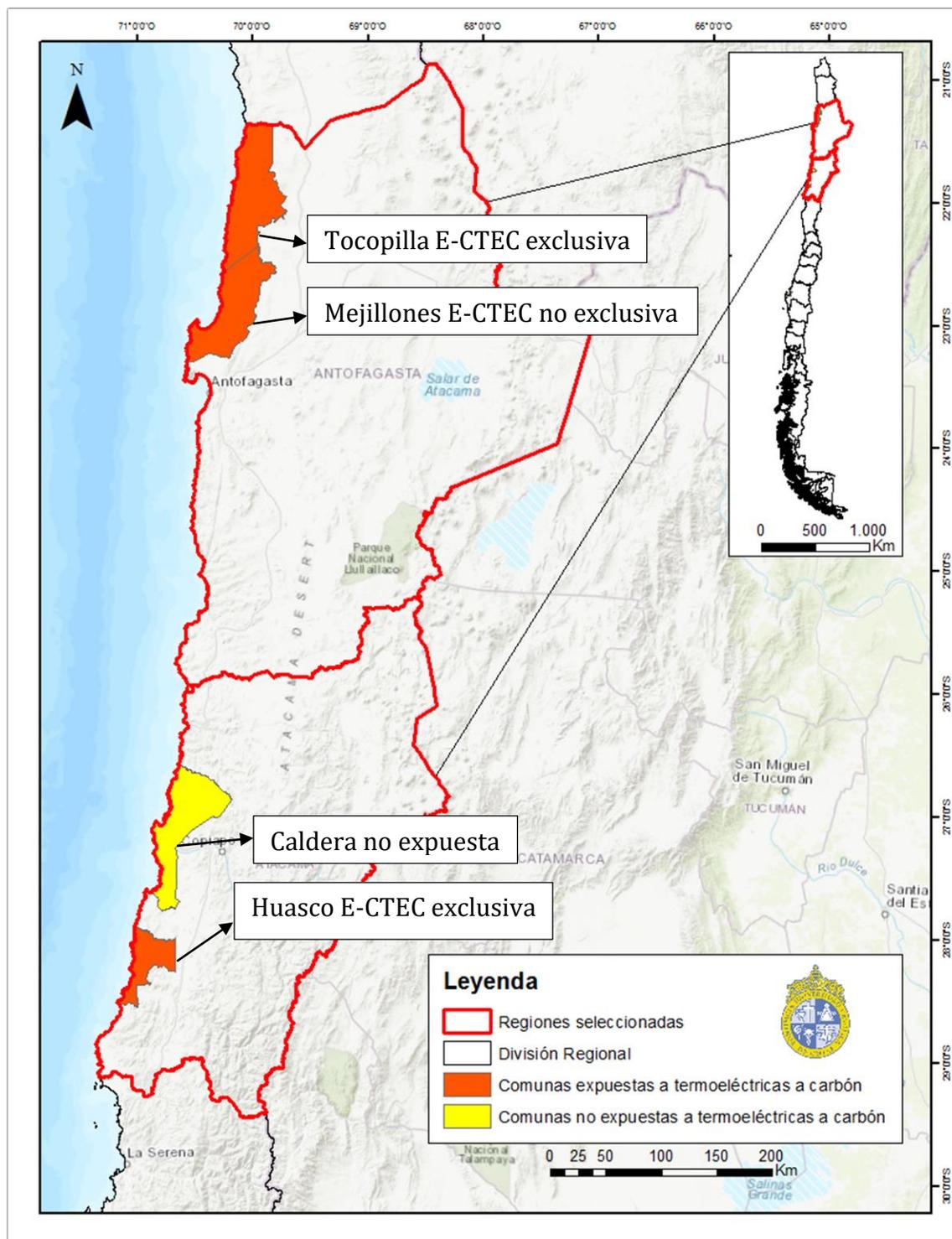
Según la distribución geográfica del país, se eligieron comunas que estuvieran expuestas a diferentes escenarios de exposición (ver figura 1):

- a) Comunas “No expuesta” a CTEC u otras fuentes emisoras similares (No Expuesta);
- b) Comunas “Expuestas CTEC”, con Centrales Termoeléctricas a Carbón exclusiva (E-CTEC exclusiva) y
- c) Comunas “Expuestas a complejo industrial”, en los que se incluyen CTE junto a otras fuentes emisoras (E-CTEC no exclusiva).

Además, para ajustar las diferencias por condiciones geográficas regionales, se seleccionaron comunas control que estuvieran en la misma región y estuvieran en el borde costero. De esta manera, se presentan las siguientes comparaciones:

- Región de Antofagasta: Tocopilla (E-CTEC exclusiva) – Mejillones (E-CTEC no exclusiva) vs Caldera (No Expuesta) (en esta región no se identificó una comuna control comparable a las comunas expuestas).
- Región de Atacama: Huasco (E-CTEC exclusiva) vs Caldera (No Expuesta).

Figura 1. Mapa de distribución de las comunas seleccionadas con diferente exposición a Centrales Termoeléctricas a Carbón en la zona norte de Chile, año 2019.



A fin de validar la comparabilidad de las comunas de acuerdo a su exposición a contaminantes asociados a las CTEC y otras fuentes, donde los “principales contaminantes emitidos a partir de los procesos de una CTE son material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metales pesados como el mercurio (Hg); adicionalmente, las emisiones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son precursores en la atmósfera de ácido nítrico y sulfúrico” (Cortés, S. Yohannessen, K. Tellerías, L. Ahumada, E. , 2019). Se listan a continuación otros indicadores de su calidad ambiental y sus características meteorológicas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características de las exposiciones ambientales y condiciones meteorológicas en las comunas seleccionadas, Chile, año 2019.

Región	Comuna	Exposición CTEC	Emisiones al aire RETC <sup>1</sup>		Datos meteorológicos <sup>2</sup>			Plan descontaminación (año) <sup>3</sup>
			MP (T/año)	SO <sub>2</sub> (T/año)	Temperatura (°C)	Humedad del aire (%)	Velocidad del viento (m/s)	
Región de Antofagasta	Mejillones	Exposición exclusiva	4.445,57	21.406,12	s/d	s/d	s/d	No
	Tocopilla	Exposición exclusiva	3.679,71	15.916,00	18,42 (2015)	63,95 (2015)	1,71	Si (2010)
Región de Atacama	Huasco	Exposición exclusiva	1.851,59	10.586,89	15,2	76,97	2,61	Si (2017)
	Caldera	No expuesta	5,2	6,16	s/d	s/d	s/d	No

Fuente: 1RETCA,2018 2SINCA,2018 3MINSEGPRES, 2010 y 2017.

A partir de los datos ambientales disponibles, las comunas expuestas de la II y III región tienen elevadas emisiones al aire de Material Particulado (MP) y Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) al aire. Tocopilla y Huasco, son comunas que desde el año 2010 y 2017 respectivamente, cuentan con un Plan de Descontaminación que tiene como objetivo mejorar las condiciones de calidad de aire de dichas comunas según las normas establecidas. Por otra parte, la comuna de Caldera (no expuesta) reporta bajas emisiones.

Considerando que los efectos en la salud de la población asociados a los contaminantes que puedan ser emitidos por CTEC son de tipo multifactorial, destacándose especialmente los llamados Determinantes Sociales de la Salud (OMS, s.f)

que explican en gran parte los daños en salud, es necesario asegurar que las comunas de interés sean comparables también en esta dimensión. Se listan a continuación las principales características de las comunas seleccionadas:

**Tabla 2.** Características sociodemográficas comunas seleccionadas.

Región	Comuna	Población (2017) <sup>1</sup>	Densidad poblacional (Hab/Km2) <sup>1</sup>	Tasa de pobreza multidimensional(%) <sup>2</sup>	Índice de Desarrollo Comunal (2003) <sup>3</sup>	Escolaridad jefe/a hogar (media años) <sup>1</sup>	Declaran trabajar (%) <sup>1</sup>
Región de Antofagasta	Mejillones	13.467	3,77	15,5	0,73	10,7	70
	Tocopilla	25.186	6,25	18,9	0,69	10,5	53
Región de Atacama	Huasco	10.149	6,3	22,9	0,69	10,2	58
	Caldera	17.662	4,8	25	0,74	10,6	61

Fuente: <sup>1</sup>Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Censo 2017

<sup>2</sup>Ministerio de Desarrollo Social, CASEN, 2015

<sup>3</sup> PNUD- Ministerio de Desarrollo Social, 2003

En la Región de Antofagasta, Tocopilla tiene mayor número de habitantes, densidad poblacional, tasa de pobreza multidimensional, Índice de Desarrollo Comunal (IDH) que Mejillones. Por otra parte, en la Región de Atacama, la comuna de Huasco, tiene menor número de habitantes, mayor densidad poblacional que Caldera. No obstante, en los indicadores restantes está por debajo de los valores de Caldera, que es comuna no expuesta a centrales termoeléctricas a carbón.

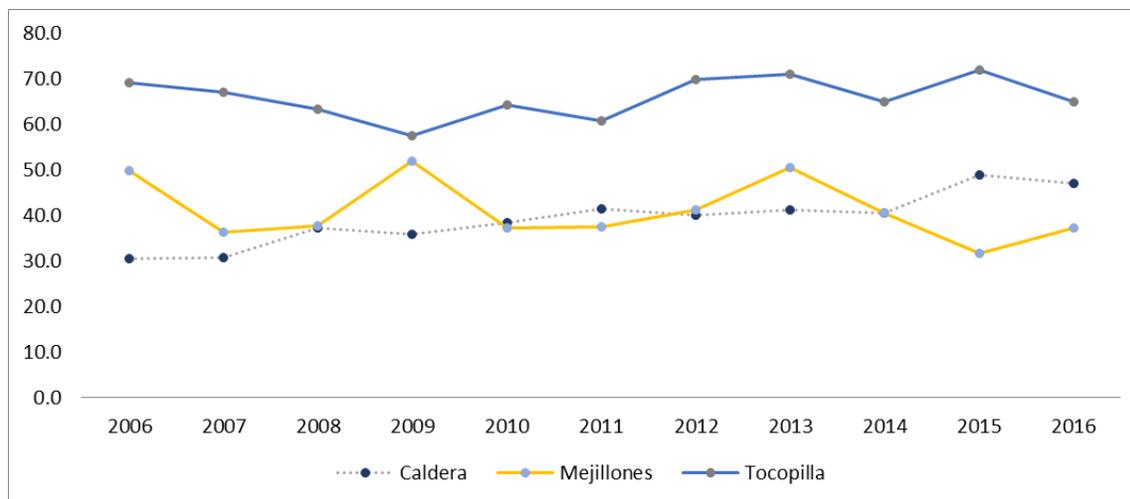
#### **IV. Resultados**

Se presentan en este Informe Final, los principales resultados referidos a Mortalidad general, Mortalidad específica, Morbilidad general y Morbilidad específica, con indicadores comparando diferentes niveles de exposición por regiones, detallándose según sexo y grupos de edad. Lo anterior se complementa presentando gráficos con los resultados obtenidos donde es posible comparar dichos resultados respecto a la tasa correspondiente a Chile y las diferentes regiones de interés para el año 2016, lo anterior se encuentra informado debajo de cada gráfico. Adicionalmente, en los Anexos se muestra información adicional, por ejemplo en el Anexo 1, se encuentran disponibles los datos de mortalidad para Chile y las regiones de Antofagasta y Atacama para los años 2006, 2010 y 2016 y en el Anexo 5, se encuentran los datos de morbilidad para Chile y las regiones mencionadas previamente para los mismos años. Finalmente, se entregan Razones de Mortalidad Estandarizada y Razones de Morbilidad Estandarizada.

#### 4.1 Mortalidad general

En la Figura 2 se muestran las tasas de mortalidad para las comunas evaluadas de la Región de Antofagasta.

Figura 2. Tasas de mortalidad para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta por 10.000 hab, 2006-2016

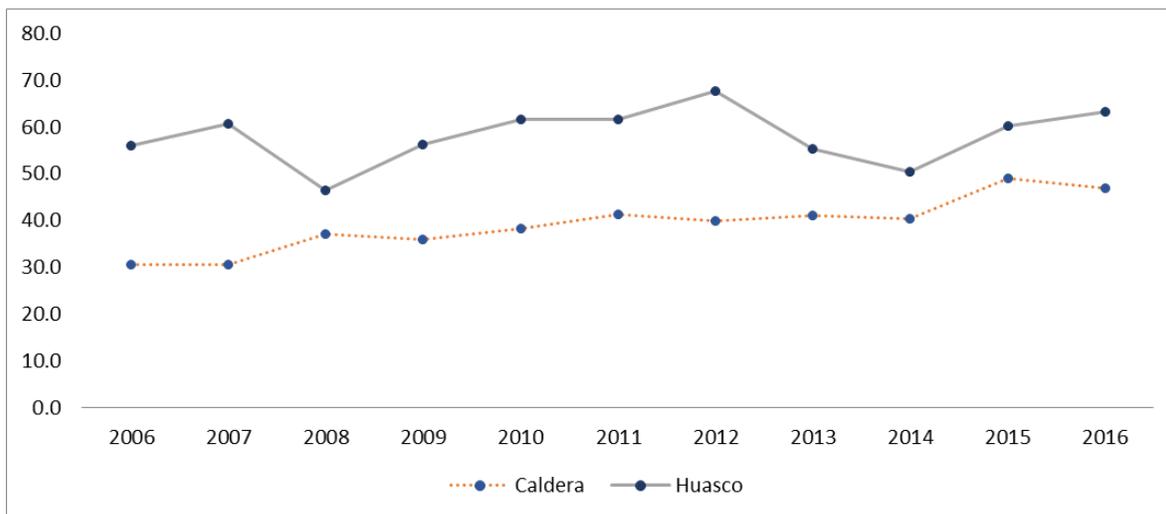


*Tasa de Mortalidad para 2016: Chile 57,18 - Región Antofagasta 48,28 X 10.000 habitantes*

La mortalidad general en la comuna de Tocopilla es más elevada que la comuna no expuesta (Caldera) en todo el periodo 2006-2016. Así mismo, destaca Tocopilla por tener mayores tasas de mortalidad. Al comparar respecto a la región y el país, Mejillones tiene tasas más bajas que las de Chile y la región, según lo observado para el año 2016.

En las comunas evaluadas en la Región de Atacama, las tasas de mortalidad se muestran en la Figura 3.

Figura 3. Tasas de mortalidad para las comunas evaluadas de la región de Atacama por 10.000 hab, 2006-2016



*Tasa de Mortalidad para 2016: Chile 57,18 - Región Atacama 48,25 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad general en Huasco durante todo el periodo es superior a la comuna no expuesta. Al comparar Huasco con la región, la mortalidad es más elevada respecto a Chile y a la región de Atacama.

#### **4.1 Mortalidad general por grupos de edad**

La mortalidad por grupos de edad (tabla 3 y 4), permite comprender la distribución en relación a los grupos donde muere más o menos población en las distintas comunas. Para el año 2006, en general al observar todas las comunas, se visualiza que los hombres tienen tasas más altas de mortalidad general versus las mujeres. A su vez, el grupo de >80 años es el que tiene las tasas más altas de mortalidad. Huasco, tiene la tasa de mortalidad más elevada en el grupo de 0-5 años, Tocopilla tiene la tasa más elevada en los grupos de 6-12, 13-18, 19-44, 45-64 y >80 años. Por otra parte, Mejillones tiene la tasa más alta en el grupo de 65-79 años.

De manera general, todas las comunas, tanto expuestas como no expuestas tienen tasas más altas de mortalidad en los hombres respecto a las mujeres, lo que es también observado en las dos regiones de Chile.

Respecto al año 2016, en el grupo de niños de 0-5 años, Tocopilla tiene tasa de mortalidad más elevada, además del grupo de 65-79 años de edad. Mejillones para el grupo de 6-12 y 45-64 años y Huasco para los grupos de 13-18, 19-44 y >80 años, tiene las tasas más elevadas de mortalidad.

En cualquiera de los casos, el análisis de estos resultados debe tomarse con cautela ya que dentro de cada estrato de edades el número de muertes es bajo.

Es posible comparar todos estos resultados respecto a las tasas a nivel país y región, por edad, que se encuentran en el Anexo 4.

Tabla 3. Tasa de mortalidad general por 10.000 habitantes según grupos de edad y sexo, año 2006

Región	Comuna	Total	Grupos de edad							Sexo	
			0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	Hombre	Mujer
Región de Antofagasta	Mejillones	49,84	22,05	0,00	0,00	7,41	76,21	519,13	1046,51	57,88	40,02
		<i>n=47</i>	<i>n=2</i>	<i>n=0</i>	<i>n=0</i>	<i>n=3</i>	<i>n=14</i>	<i>n=19</i>	<i>n=9</i>	<i>n=30</i>	<i>n=17</i>
	Tocopilla	69,09	17,32	6,00	6,85	18,51	81,44	336,76	1337,21	70,94	67,20
		<i>n=177</i>	<i>n=4</i>	<i>n=2</i>	<i>n=2</i>	<i>n=17</i>	<i>n=47</i>	<i>n=59</i>	<i>n=46</i>	<i>n=92</i>	<i>n=85</i>
Región de Atacama	Huasco	56,19	50,83	0,00	0,00	12,70	46,39	307,22	1034,48	52,17	60,30
		<i>n=49</i>	<i>n=4</i>	<i>n=0</i>	<i>n=0</i>	<i>n=4</i>	<i>n=9</i>	<i>n=20</i>	<i>n=12</i>	<i>n=23</i>	<i>n=26</i>
	Caldera	30,62	20,31	0,00	0,00	5,09	39,19	224,85	709,22	33,78	27,02
		<i>n=46</i>	<i>n=3</i>	<i>n=0</i>	<i>n=0</i>	<i>n=3</i>	<i>n=11</i>	<i>n=19</i>	<i>n=10</i>	<i>n=27</i>	<i>n=19</i>

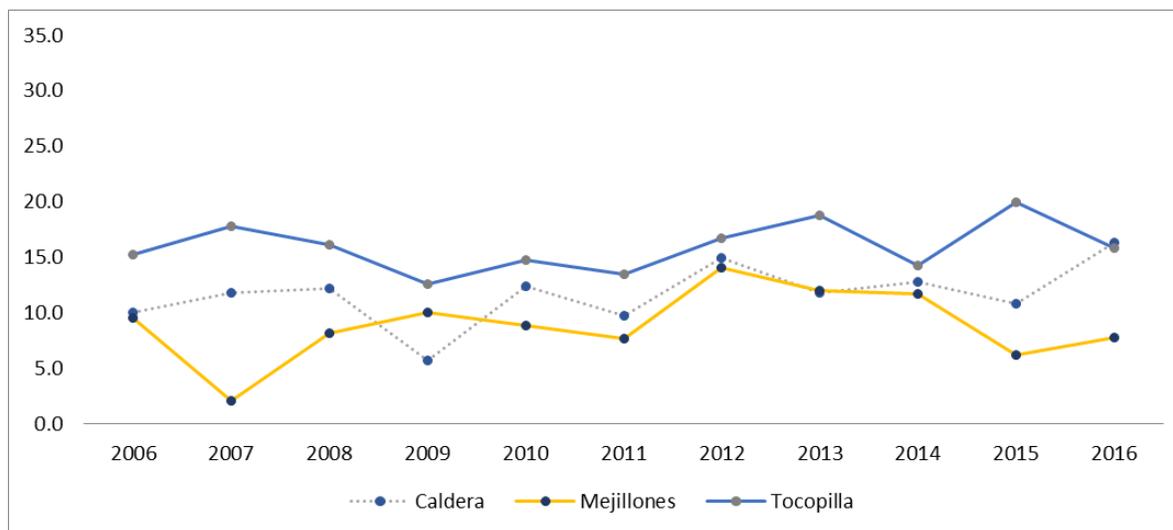
Tabla 4. Tasa de mortalidad general por 10.000 habitantes según grupos de edad y sexo, año 2016

Región	Comuna	Total	Grupos de edad							Sexo	
			0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	Hombre	Mujer
Región de Antofagasta	Mejillones	37,26	27,12	8,20	0,00	8,28	56,18	170,36	709,22	62,18	38,23
		<i>n=43</i>	<i>n=3</i>	<i>n=1</i>	<i>n=0</i>	<i>n=4</i>	<i>n=15</i>	<i>n=10</i>	<i>n=10</i>	<i>n=24</i>	<i>n=19</i>
	Tocopilla	65,09	28,71	3,34	0,00	10,47	52,43	285,71	1143,45	76,80	52,88
		<i>n=181</i>	<i>n=7</i>	<i>n=1</i>	<i>n=0</i>	<i>n=10</i>	<i>n=39</i>	<i>n=69</i>	<i>n=55</i>	<i>n=109</i>	<i>n=72</i>
Región de Atacama	Huasco	63,29	0,00	0,00	11,55	19,41	50,00	145,38	1507,54	75,69	50,54
		<i>n=66</i>	<i>n=0</i>	<i>n=0</i>	<i>n=1</i>	<i>n=7</i>	<i>n=14</i>	<i>n=14</i>	<i>n=30</i>	<i>n=40</i>	<i>n=26</i>
	Caldera	47,11	22,98	5,26	5,69	13,13	31,93	213,95	1193,42	49,94	43,80
		<i>n=84</i>	<i>n=4</i>	<i>n=1</i>	<i>n=1</i>	<i>n=9</i>	<i>n=13</i>	<i>n=27</i>	<i>n=29</i>	<i>n=48</i>	<i>n=36</i>

### 4.3 Mortalidad por causas específicas

#### 4.3.1 Mortalidad por Enfermedad Cardiovascular (CIE 10: I00-I09)

Figura 4. Tasas de mortalidad por enfermedad cardiovascular para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016



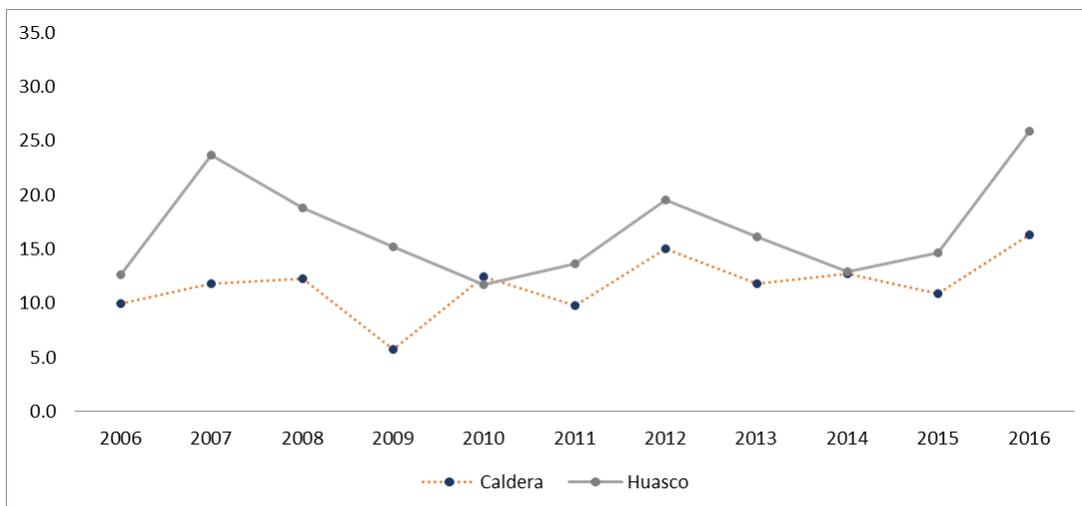
*Tasa de Mortalidad por enfermedad cardiovascular para 2016: Chile 15,47- Región de Antofagasta 10,38 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular difiere tanto en las comunas expuestas, como la no expuesta. Mejillones y Caldera a lo largo del tiempo, tienen un comportamiento similar. No obstante, lo anterior, en el año 2016 la tasa más baja es para Mejillones con 7,8 por cada 10.000 hab. Además, se observa que Mejillones disminuyó su tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular de 9,5 a 7,8 por 10.000 habitantes.

Tocopilla durante el periodo 2006-2016 ha aumentado la tasa de mortalidad. De hecho, si se comparan los valores respecto a la tasa regional y nacional, los valores son más elevados (15,2 y 15,8 en los años 2006 y 2016, respectivamente).

Caldera tiene años en que tiene valores similares a Mejillones, para el año 2016 la tasa de mortalidad aumenta, llegando a ser mayor a la de Mejillones y Tocopilla.

Figura 5. Tasas de mortalidad por enfermedad cardiovascular para las comunas evaluadas de la Región de Atacama, 2006-2016



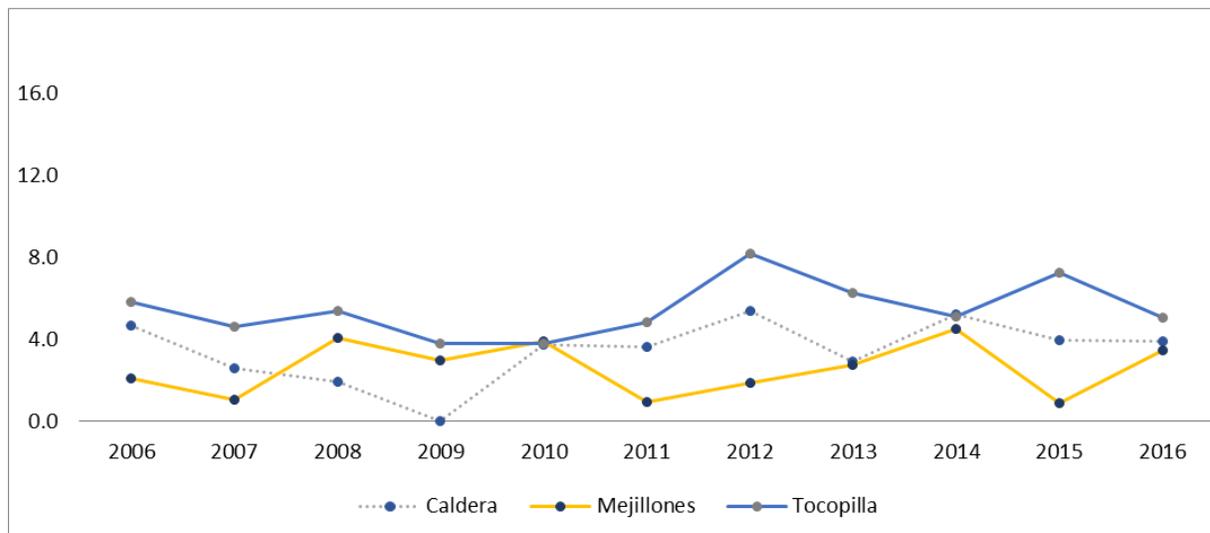
*Tasa de Mortalidad por enfermedad cardiovascular para 2016: Chile 15,47- Región de Atacama 13,58 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular en Huasco, es más alta que Caldera durante todo el periodo de estudio. En Huasco la mortalidad aumentó de 12,6 (año 2006) a 25,9 (año 2016) por 10.000 hab. Si se comparan las tasas con el valor nacional, para el año 2006 Huasco se encuentra bajo la tasa nacional y sobre ella para el año 2016. Por otra parte, en el caso de la comparación regional, la tasa de Huasco para ambos años es más elevada que la que tiene la región de Atacama para mortalidad cardiovascular.

Al igual que Huasco, Caldera aumenta la tasa de mortalidad de 10 (año 2006) a 16,3 (año 2016) por 10.000 habitantes, estando por sobre el valor nacional y regional para el año 2016.

### 4.3.2 Mortalidad por Enfermedades Cerebrovasculares (CIE 10: I60-I69)

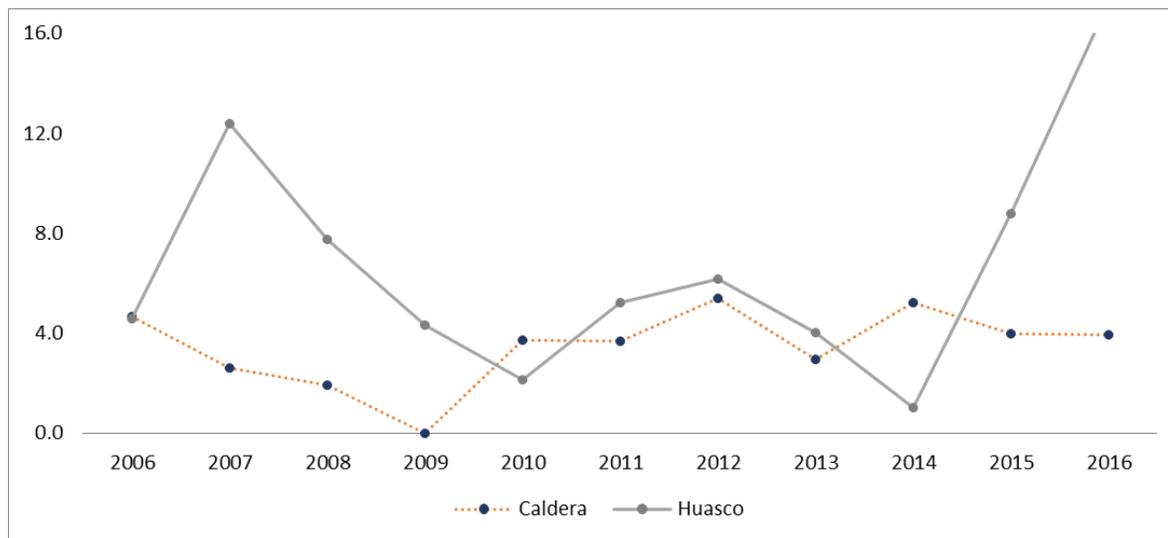
Figura 6. Tasas de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016



*Tasa de Mortalidad por enfermedad cerebrovascular para 2016: Chile 4,64- Región de Antofagasta 3,28 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares, si bien, no se comportan en términos numéricos igual a las enfermedades cardiovasculares, siguen una tendencia similar. Mejillones, durante el periodo 2006-2016 ha tenido variaciones en la tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares, no obstante, lo anterior, en el año 2006 la tasa es de 2,1 por 10.000 habs, siendo más baja que la región y Chile para ese año. En el año 2016, es de 3,5 por 10.000 habs, encontrándose más baja que Chile y levemente más elevada que la Región de Antofagasta. En cuanto a Tocopilla, la tasa de mortalidad disminuye de 5,9 (año 2006) a 5,0 (año 2016) por 10.000 habs. Sin embargo, si se compara con los valores de la Región de Antofagasta y Chile, la comuna tiene tasas de mortalidad elevadas. Caldera, se comporta similar a Mejillones, sin embargo, hay años en donde Caldera tiene tasas más elevadas que Mejillones y viceversa.

Figura 7. Tasas de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares para las comunas evaluadas de la Región de Atacama, 2006-2016



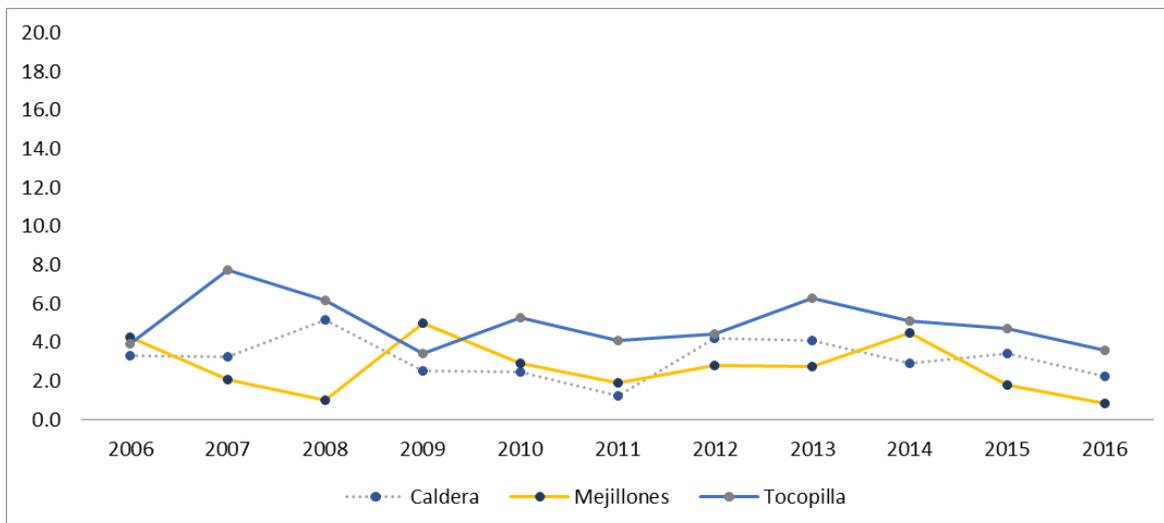
*Tasa de Mortalidad por enfermedad cerebrovascular para 2016: Chile 4,64- Región de Atacama 4,29 X 10.000 habitantes*

Huasco tiene variaciones marcadas a lo largo de los años en la tasa de mortalidad, con un incremento en la tasa de 4,6 (año 2006) a 17,3 (año 2016) por 10.000 habitantes. Además, de manera general, la comuna se encuentra sobre las tasas del país y de la región.

A diferencia de Huasco, Caldera tiene tasas de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares más estables durante el tiempo y más bajas que Chile y la región. En el año 2006 la tasa fue de 4,7 y para el 2016 de 3,9 por 10.000 hab. Finalmente, se destacan las tasas de Huasco en el año 2010 de 2,1 y una tasa de 1,0 x10.000 hab para el año 2014.

### 4.3.3 Mortalidad por Enfermedad Isquémica del Corazón (CIE 10: I20-I25)

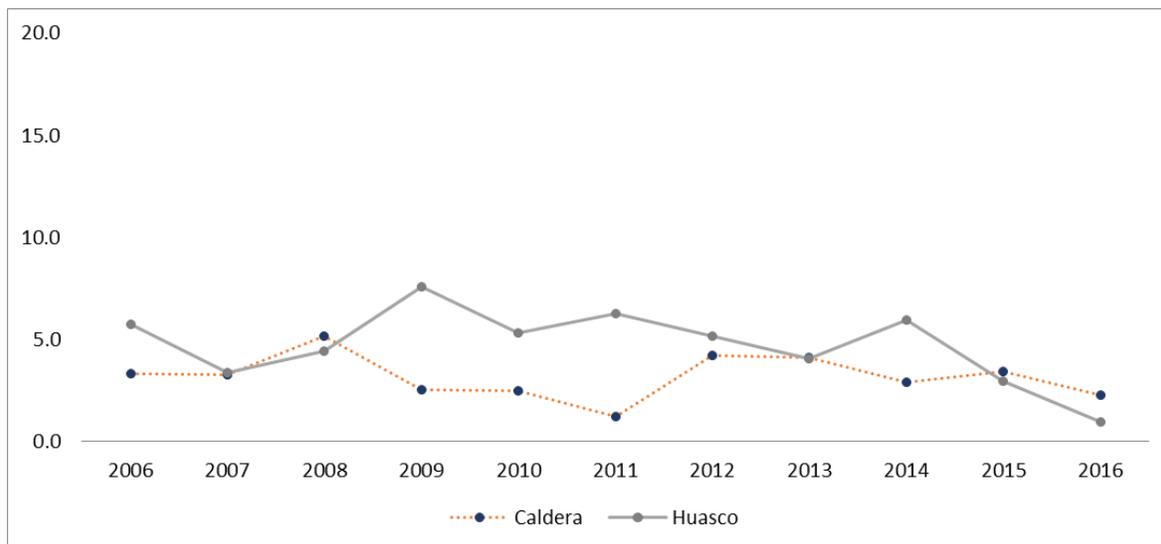
Figura 8. Tasas de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para las comunas evaluadas de la Región de Antofagasta, 2006-2016



*Tasa de Mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para 2016: Chile 4,48- Región de Antofagasta 2,96 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón presenta variación para las tres comunas de estudio. No obstante, Tocopilla tiene tasas en promedio más elevadas que Mejillones y que Caldera. En el año 2006 la tasa fue de 3,9 y para el 2016 de 3,6 por 10.000 habitantes. Mejillones, ha tenido una variación marcada en las tasas anuales de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón, en el año 2006 la tasa fue de 4,2 y el 2016 de 0,9 por 10.000 habitantes. Caldera, tiene variaciones en la mortalidad como Mejillones, hay años en que está por sobre y otros bajo a Mejillones.

Figura 9. Tasas de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para las comunas evaluadas de la Región de Atacama, 2006-2016



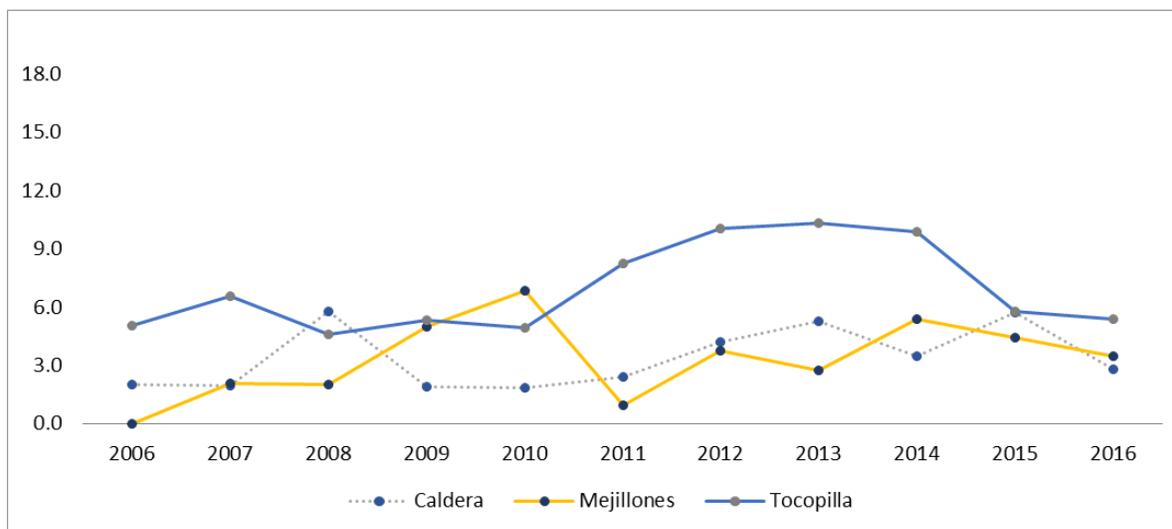
*Tasa de Mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para 2016: Chile 4,48- Región de Atacama 3,09 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón en Huasco y Caldera, varían a lo largo del período. Hay años en los cuales Huasco y Caldera tienen tasas similares (como por ejemplo años 2007 y 2013). Sin embargo, hay otros periodos donde Huasco tiene tasas más elevadas respecto a Caldera.

Huasco tiene una tasa de 5,7 por 10.000 hab para el año 2006 y de 1,0 por 10.000 hab para el año 2016. Si se compara respecto a la región y el país, en el año 2016, la comuna tiene una tasa más baja.

#### 4.3.4 Mortalidad por Enfermedades del Sistema Respiratorio (CIE 10: J00-J99)

Figura 10. Tasas de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016



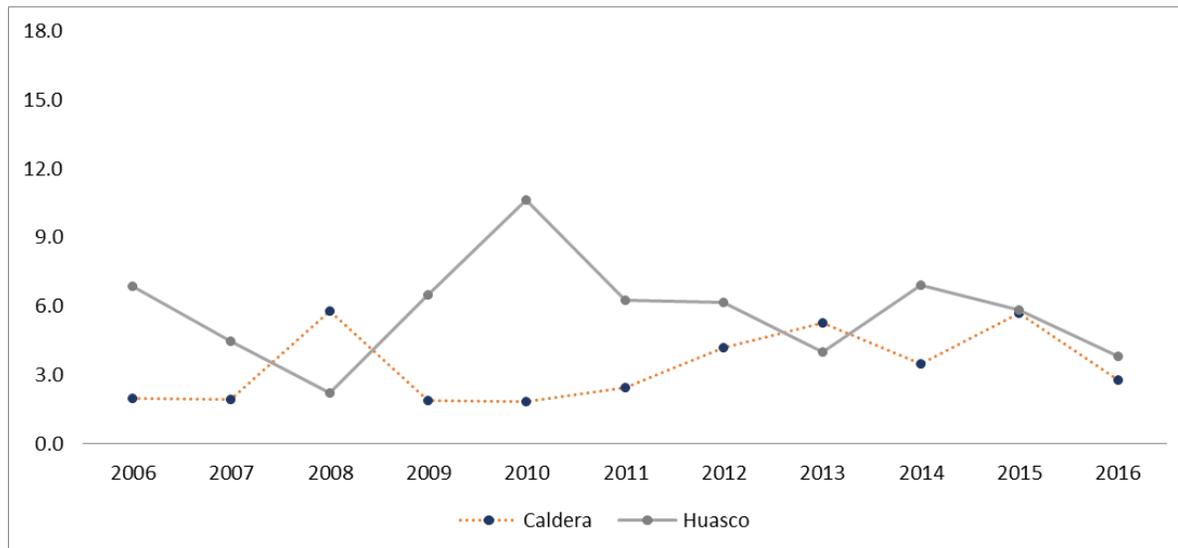
*Tasa de Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para 2016: Chile 5,41-Región de Antofagasta 4,26 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio, al igual que en las patologías mencionadas anteriormente, se mantienen más elevadas en la comuna de Tocopilla. La tasa es de 5,1 (año 2006) y 5,4 (año 2016) por 10.000 habitantes en dicha comuna. Al comparar los valores con las referencias de Chile y la región, las tasas se mantienen elevadas.

En Mejillones la tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio a lo largo del periodo ha tenido variaciones. Para el año 2006 la tasa es de 0 y para el 2016 es de 3,5 por 10.000 habitantes, ambos valores inferiores a las referencias de Chile y la región.

Caldera tiene una variación más estable a lo largo del periodo, con tasas de 2,0 (año 2006) y 2,8 (año 2016). Además, la comuna tiene en general tasas más bajas que Mejillones y Tocopilla.

Figura 11. Tasas de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para las comunas evaluadas de la Región de Atacama, 2006-2016

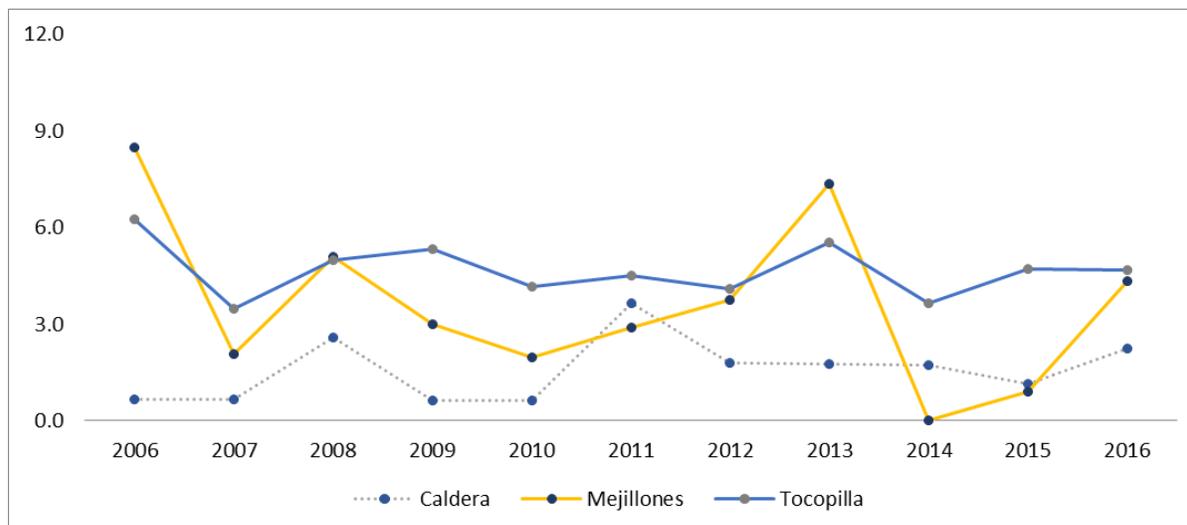


*Tasa de Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para 2016: Chile 5,41-Región de Atacama 4,61 X 10.000 habitantes*

Huasco, a lo largo del periodo 2006-2016 tiene tasas de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio más elevadas que la comuna no expuesta correspondiente a Caldera. Para el año 2006 la tasa es de 6,9 por 10.000 hab, la cual fluctúa en el tiempo y disminuye a 3,8 por 10.000 hab en el año 2016. Dicha disminución es relevante, ya que, si se compara la tasa de mortalidad de Huasco con el país y la región, se encuentra bajo a la referencia.

### 4.3.5 Mortalidad por Tumores Malignos de Tráquea, Bronquios y Pulmón (CIE 10: C33-C34)

Figura 12. Tasas de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón para las comunas evaluadas de la Región de Antofagasta, 2006-2016



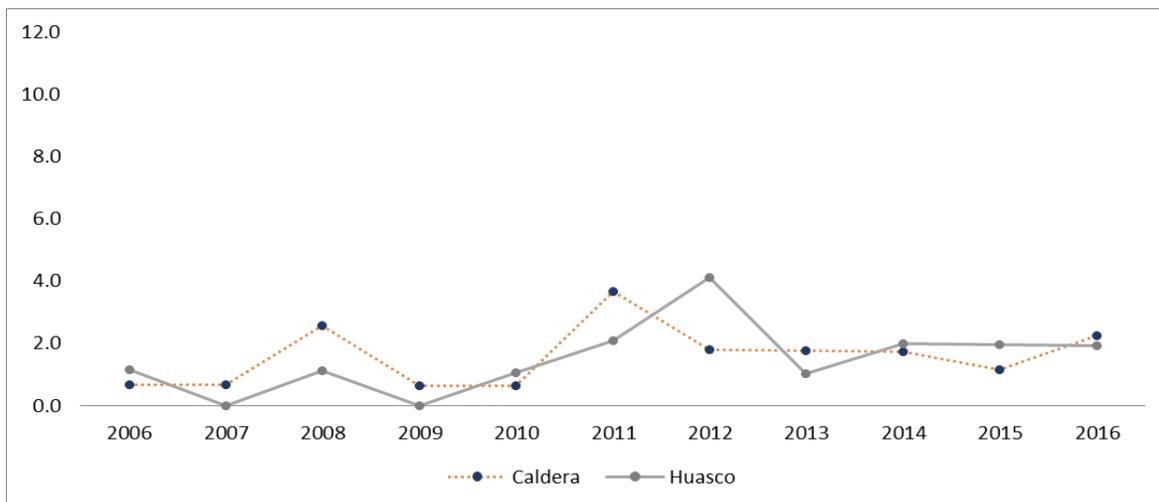
*Tasa de Mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón para 2016: Chile 1,74- Región de Antofagasta 3,04 X 10.000 habitantes*

La tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón es mayor en la comuna de Tocopilla. Por otra parte, Caldera tiene tasa de mortalidad más baja durante todo el periodo de estudio.

La tasa de mortalidad por dichas patologías en Tocopilla ha disminuido durante los años 2006-2016. Sin embargo, si se comparan las tasas con las referencias de la región y el país, son elevadas (6,8 años 2006 y 4,7 año 2016 por 10.000 habs).

Mejillones ha tenido un comportamiento variado en el periodo, teniendo años en donde la tasa de mortalidad baja a 0 (año 2014) y años donde la tasa llega a 8,5 por 10.000 habs en el año 2006.

Figura 13. Tasas de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón para las comunas evaluadas de la Región de Atacama, 2006-2016



*Tasa de Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para 2016: Chile 1,74-Región de Atacama 1,93 X 10.000 habitantes*

Huasco y Caldera tienen una variación similar a lo largo del tiempo. Con tasas que en general están bajo y en algunos casos similares a las referencias del país y la región (a excepción de algunos años, en donde la tasa es superior). La tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón en Huasco fue de 1,1 (año 2006) y 1,9 (año 2016) por 10.000 hab.

#### 4.4 Razón de Mortalidad Estandarizada (RME)

De acuerdo a lo explicado en la metodología, se presentan las RME en referencia a la tasa del país y de la región. En cada caso se destaca en amarillo aquellos casos donde el riesgo de presentar una tasa de mortalidad general y/o específica sea significativamente mayor para la comuna respecto al país y/o región. Si el Intervalo de Confianza (I.C.) construido al 95% de confianza se mantiene sobre el valor 1, es porque el RME es en efecto, significativamente de riesgo (para más detalle, revisar sección de metodología 3.3).

Tabla 5. RME mortalidad general respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad General respecto al país, año 2016				Mortalidad General respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y						
Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	1,05	0,82	1,27	1,09	0,86	1,32
Mejillones	0,94	0,66	1,22	0,85	0,59	1,10
Tocopilla	1,22	1,04	1,39	1,09	0,93	1,25
Huasco	1,12	0,85	1,39	1,17	0,89	1,45

Se puede observar que la comuna de Tocopilla presenta un 22% más de riesgo de morir respecto a la tasa de mortalidad general del país, con un IC al 95% significativo que va de (1,04 a 1,39).

Es relevante observar, que la comuna considerada como control, correspondiente a Caldera, tiene un riesgo diferente a la tasa de mortalidad general del país y de su región. Esto se debe a que la proporción de comunas expuestas son escasas dentro de cada región y por ello del país, por lo que es esperable que la comuna control se comporte como su región y en algunos casos, como el país también.

Tabla 6. RME por enfermedad cardiovascular respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad por enfermedad cardiovascular respecto al país, año 2016				Mortalidad por enfermedad cardiovascular respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	1,40	0,89	1,92	1,38	0,87	1,88
Mejillones	0,78	0,27	1,29	0,83	0,29	1,38
Tocopilla	1,12	0,79	1,45	1,20	0,84	1,55
Huasco	1,71	1,07	2,36	1,69	1,05	2,32

Al considerar la mortalidad por enfermedad cardiovascular, Huasco es la única comuna que presenta un riesgo superior y significativo respecto al país y la región, con Razón de Mortalidad Estandarizada de 1,71 y 1,69 respectivamente.

Tabla 7. RME por enfermedades cerebrovasculares respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad por enfermedad cerebrovascular respecto al país, año 2016				Mortalidad por enfermedad cerebrovascular respecto a la región , año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	1,13	0,29	1,97	1,05	0,27	1,82
Mejillones	1,17	0,02	2,32	1,19	0,02	2,35
Tocopilla	1,19	0,57	1,81	1,20	0,57	1,82
Huasco	3,81	2,05	5,56	3,56	1,92	5,21

Al considerar la mortalidad por enfermedad cerebrovascular, el comportamiento observado es similar al caso anterior. En la región de Antofagasta no se observan riesgos relativos significativamente más altos en las comunas de Tocopilla y Mejillones.

En la región de Atacama, el riesgo relativo de la comuna de Huasco es alto y significativo, tanto respecto a región como al país. En este caso, se puede inferir que el riesgo de morir por enfermedad cerebrovascular es 3,8 veces más alto en Huasco respecto al país (95% IC de 12,05 a 5,56) y de 3,56 veces más alto respecto a la región (95% IC de 1,92 a 5,21).

Es importante tomar en cuenta que, en el caso de las mortalidades específicas, se observan I.C muy amplios o bien no significativos, debido al bajo número de personas que fallecen por dichas causas en cada comuna (ver Anexo 4).

Tabla 8. RME por enfermedad isquémica del corazón respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón respecto al país , año 2016				Mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0,64	0,01	1,27	0,81	0,02	1,61
Mejillones	0,29	0,00	0,85	0,32	0,00	0,95
Tocopilla	0,85	0,32	1,37	0,97	0,37	1,57
Huasco	0,21	0,00	0,63	0,27	0,00	0,80

Respecto a Mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón, las comunas de estudio no presentan riesgos significativos superiores al país y a la región de referencia.

Llama la atención que hay comunas expuestas, como Mejillones y Huasco, que presentan un riesgo significativamente inferior respecto al país y la región. En este caso, también es relevante la amplitud de intervalos debido a la baja frecuencia del evento estudiado (ver Anexo 4).

Tabla 9. RME por enfermedades del sistema respiratorio respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio respecto al país, año 2016				Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio respecto a la región , año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0,71	0,09	1,34	0,70	0,09	1,32
Mejillones	1,02	0,02	2,03	0,91	0,02	1,80
Tocopilla	1,12	0,55	1,68	0,98	0,49	1,48
Huasco	0,74	0,01	1,46	0,73	0,01	1,44

Al analizar la mortalidad por enfermedades respiratorias, es posible verificar que ninguna de las comunas estudiadas, ya sean expuesta o no, presentan diferencias significativas en el riesgo relacionado respecto al país y la región.

Tabla 10. RME por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón respecto al país, año 2016				Mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	1,59	0,03	3,14	1,27	0,03	2,52
Mejillones	3,64	0,45	6,84	1,62	0,20	3,04
Tocopilla	2,72	1,24	4,20	1,19	0,54	1,84
Huasco	1,06	0,00	2,53	0,84	0,00	2,01

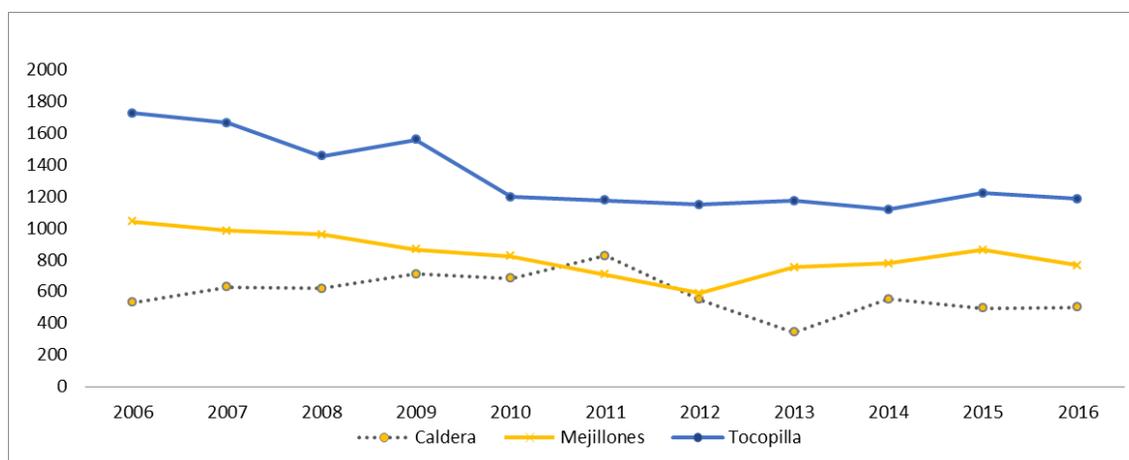
Finalmente, al analizar la mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón, se observa un riesgo significativamente superior, con un valor de 2,7 veces más riesgo respecto al país, en la comuna de Tocopilla con un IC de 1,24-4,20.

Es particularmente relevante la baja frecuencia de muertes por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón. De hecho, en todo Chile el año 2016, sólo mueren 3.167 personas por esta causa (ver Anexo 4). Como ya se explicó, esto afecta en intervalos de confianza muy amplios.

## 4.5 Morbilidad general

En la Figura 14 se muestran las tasas de morbilidad para las comunas evaluadas de la Región de Antofagasta.

Figura 14 Tasas de morbilidad para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta por 10.000 hab, 2006-2016



*Tasa de Morbilidad para 2016: Chile 899,99- Región Antofagasta 932,15 X 10.000 habitantes*

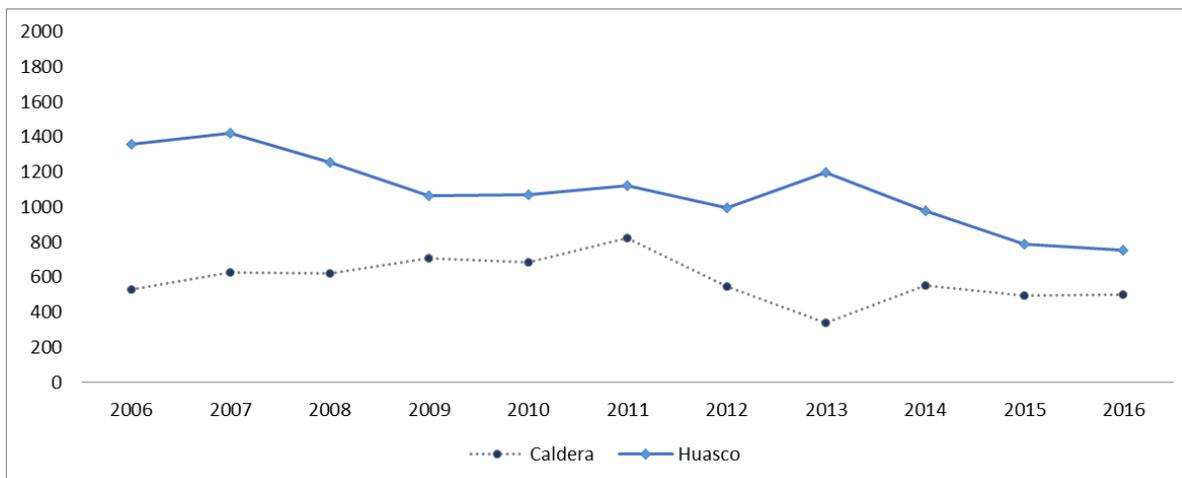
La tasa de egresos hospitalarios es superior en la comuna de Tocopilla. La tasa general en dicha comuna supera la tasa regional y de Chile para el año 2016, con 1181,7 por 10.000 hab.

En el caso de Mejillones, la tasa de morbilidad general es inferior a lo largo del periodo 2006-2016 respecto a Tocopilla, y superior a Caldera; al comparar con la región y el país, la morbilidad general en Mejillones es inferior.

Caldera, tiene tasas de morbilidad general que se mantienen relativamente constantes en el periodo 2006-2016, con valores menores que Mejillones y Tocopilla.

En la Figura 15 se muestran las tasas de morbilidad para las comunas evaluadas de la Región de Atacama.

Figura 15 Tasas de morbilidad para las comunas evaluadas de la región de Atacama por 10.000 hab, 2006-2016



*Tasa de Morbilidad para 2016: Chile 899,99- Región Atacama 773,94 X 10.000 habitantes*

La morbilidad general en Huasco es superior a la de Caldera, pasando de 1361,1 (año 2006) a 752,7 (año 2016) por 10.000 hab. Para el año 2016, las tasas de Huasco es menor que las del país y región, con una importante disminución en los egresos hospitalarios desde el año 2014.

Caldera tiene una tasa de morbilidad inferior tanto a Huasco como a las referencias del país y la región, manteniendo constante la tasa durante el periodo 2006-2016.

#### **4.5 Morbilidad general por grupos de edad**

La morbilidad por grupos de edad (tabla 11 y 12), permite comprender la distribución según grupos de edades donde se enferma más o menos población en las distintas comunas.

Para el año 2006, se observa que las mujeres tienen tasas más altas de morbilidad general versus los hombres, medidos como egresos hospitalarios. En el año 2006, el grupo de >80 años es el que tiene las tasas más altas de morbilidad. Además, Tocopilla tiene la tasa de morbilidad más elevada respecto a todas las comunas en dicho año. A su vez, dicha comuna, tiene la tasa más elevada en los grupos de 0-5, 6-12, 13-18, 19-44, 45-64 y 65-79 años. Por otra parte, Huasco tiene la tasa más alta en el grupo de >80 años.

En el año 2016, Tocopilla se mantiene como la comuna que tiene la tasa de morbilidad general más elevada en cuanto a las comunas de estudio de la zona norte.

De manera general, todas las comunas, tanto expuestas como no expuesta tienen tasas más altas en las mujeres que en los hombres.

En relación al grupo etario, Tocopilla tiene tasa de morbilidad más elevada en el grupo etario 0-5, 6-12, 13-18, 19-44, 45-64 y 65-79 años. Finalmente, Huasco se mantiene al igual que el año 2006, como la comuna con la tasa morbilidad más alta en el grupo de >80 años.

Tabla 11. Tasa de morbilidad general por 10.000 habitantes por grupos de edad, año 2006

Región	Comuna	Total	Grupos de edad							Sexo	
			0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	Hombre	Mujer
II y III Región	Mejillones	1041,25	1256,89	517,83	525,79	901,46	1208,49	3524,59	4418,60	771,75	1370,06
		<i>n=982</i>	<i>n=114</i>	<i>n=61</i>	<i>n=53</i>	<i>n=365</i>	<i>n=222</i>	<i>n=129</i>	<i>n=38</i>	<i>n=400</i>	<i>n=582</i>
	Tocopilla	1722,29	2073,59	698,86	1157,14	1652,69	1698,15	3652,97	6511,63	1335,60	2118,74
		<i>n=4412</i>	<i>n=479</i>	<i>n=233</i>	<i>n=338</i>	<i>n=1518</i>	<i>n=980</i>	<i>n=640</i>	<i>n=224</i>	<i>n=1732</i>	<i>n=2680</i>
	Huasco	1361,08	965,69	631,29	833,33	1368,25	1350,52	2734,25	7672,41	1059,20	1669,76
		<i>n=1187</i>	<i>n=76</i>	<i>n=69</i>	<i>n=82</i>	<i>n=431</i>	<i>n=262</i>	<i>n=178</i>	<i>n=89</i>	<i>n=467</i>	<i>n=720</i>
	Caldera	530,45	1029,11	277,78	282,05	525,69	548,63	710,06	921,99	431,63	642,78
		<i>n=797</i>	<i>n=152</i>	<i>n=53</i>	<i>n=55</i>	<i>n=310</i>	<i>n=154</i>	<i>n=60</i>	<i>n=13</i>	<i>n=345</i>	<i>n=452</i>

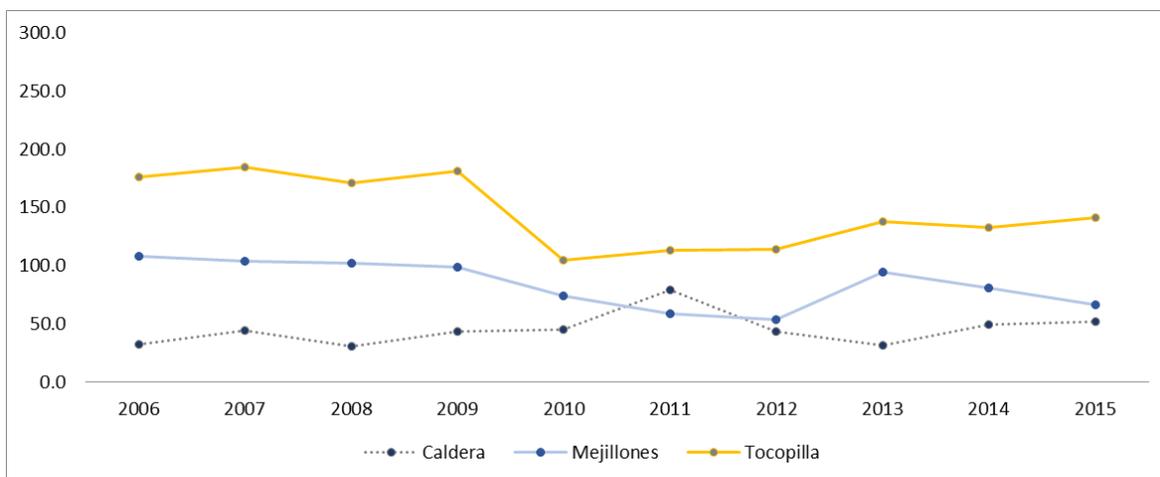
Tabla 12. Tasa de morbilidad general por 10.000 habitantes por grupos de edad, año 2016

Región	Comuna	Total	Grupos de edad							Sexo	
			0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	Hombre	Mujer
II y III Región	Mejillones	763,37	840,87	336,34	445,34	720,50	752,81	2163,54	1914,89	578,54	977,02
		<i>n=881</i>	<i>n=93</i>	<i>n=41</i>	<i>n=44</i>	<i>n=348</i>	<i>n=201</i>	<i>n=127</i>	<i>n=27</i>	<i>n=358</i>	<i>n=523</i>
	Tocopilla	1181,72	1300,25	517,70	570,05	1048,28	1197,74	2422,36	4054,05	990,70	1380,83
		<i>n=3286</i>	<i>n=317</i>	<i>n=155</i>	<i>n=142</i>	<i>n=1001</i>	<i>n=891</i>	<i>n=585</i>	<i>n=195</i>	<i>n=1406</i>	<i>n=1880</i>
	Huasco	752,71	567,69	259,50	346,42	709,93	692,86	1298,03	5025,13	609,27	900,08
		<i>n=785</i>	<i>n=52</i>	<i>n=28</i>	<i>n=30</i>	<i>n=256</i>	<i>n=194</i>	<i>n=125</i>	<i>n=100</i>	<i>n=322</i>	<i>n=463</i>
	Caldera	500,28	585,87	152,55	239,04	525,16	479,00	950,87	1810,70	370,41	652,15
		<i>n=892</i>	<i>102</i>	<i>29</i>	<i>42</i>	<i>360</i>	<i>195</i>	<i>120</i>	<i>44</i>	<i>n=356</i>	<i>n=536</i>

## 4.5 Morbilidad por causas específicas

### 4.7.1 Morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio (CIE 10: J00-J99)

Figura 16. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

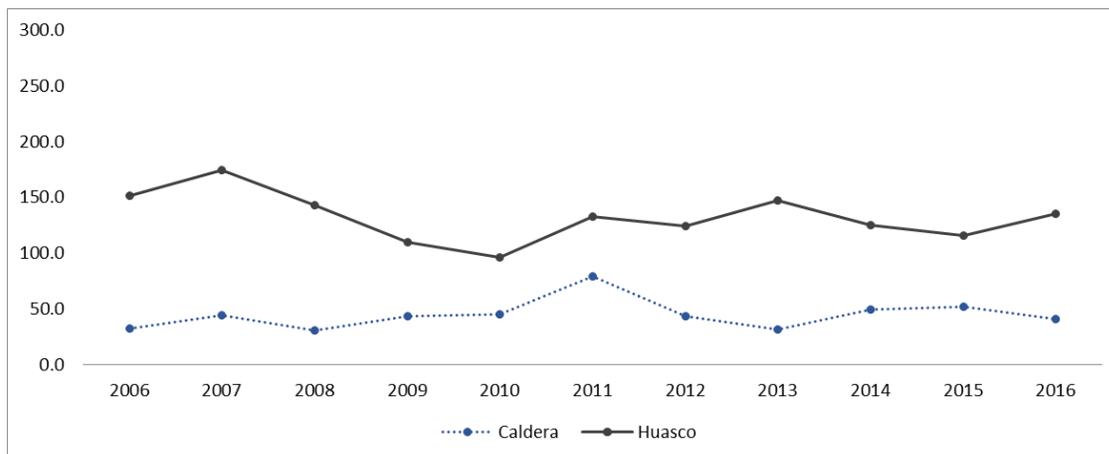


*Tasa de Morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio para 2016: Chile 85,93-Región de Antofagasta 82,58 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios debidos a enfermedades del sistema respiratorio difiere tanto en las comunas expuestas, como la no expuesta. Tocopilla y Mejillones a lo largo del tiempo, tienen tasas superiores a la comuna no expuesta correspondiente a Caldera.

La tasa de morbilidad de Tocopilla para el 2016 es de 151,5 x 10.000 habitantes, cuya cifra se encuentra superior a Chile y la región de Antofagasta. Mejillones tiene una tasa de 80,6 x10.000 habitantes, la cual se encuentra bajo el promedio del país y la región. No obstante, sigue siendo superior a la tasa de Caldera correspondiente a 40,9 x10.000 habitantes en el año 2016.

Figura 17. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016

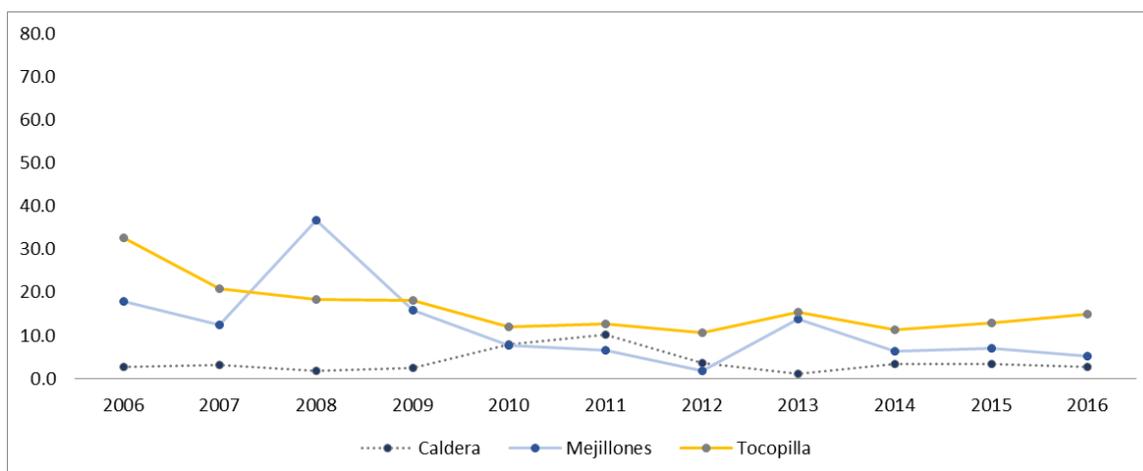


*Tasa de Morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio para 2016: Chile 85,93-Región de Atacama 79,41 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad para Huasco durante el periodo 2006-2016 es superior a la comuna de Caldera. En el año 2016, Huasco tiene una tasa de 135,2 x10.000 hab versus 40,9 x10.000 hab en Caldera. En relación a lo anterior, la tasa de Huasco está por sobre la tasa regional y del país.

#### 4.7.2 Morbilidad por egresos hospitalarios debidos a enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores (CIE 10: J40-J44)

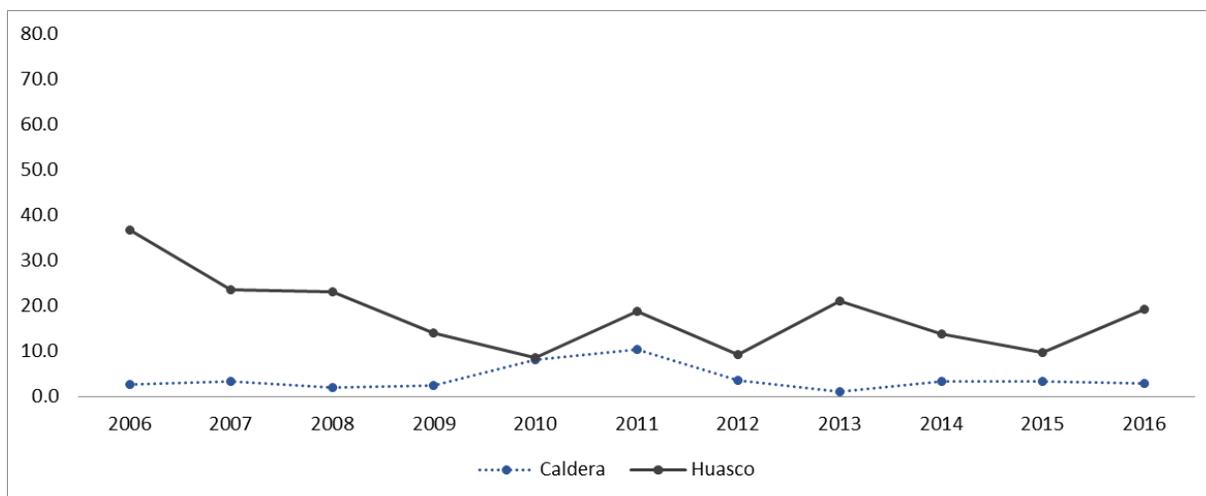
Figura 18. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016



*Tasa de Morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para 2016: Chile 7,8- Región de Antofagasta 7,25 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias es superior en casi todo el periodo en la comuna de Tocopilla. A excepción del año 2008, donde la comuna de Mejillones tiene un alza en la tasa de morbilidad (36,7 x10.000 habs). En el año 2016 la tasa de morbilidad para Tocopilla fue de 15,1 x10.000 habs, la cual es superior al valor nacional y regional. Por otra parte, la tasa de Mejillones es de 5,2 x10.000 habs al año 2016, tasa que a diferencia de Tocopilla es menor al valor país y región. Finalmente, la tasa de Caldera se mantiene con valores menores en comparación a las comunas expuestas, a excepción del año 2011-2012 donde supera a la comuna de Mejillones.

Figura 19. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016



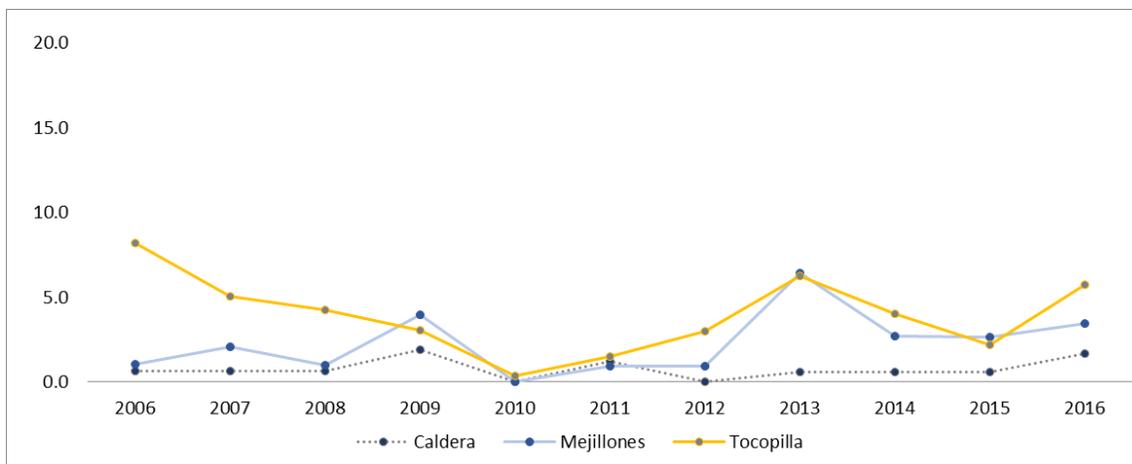
*Tasa de Morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para 2016: Chile 7,8- Región de Atacama 6,98 X 10.000 habitantes*

La morbilidad en la comuna de Huasco es superior respecto a la comuna de Caldera. Sin embargo, en el año 2010 las tasas de ambas comunas se mantienen similares con valores de 8,1 en Caldera y 8,5 x10.000 hab para Huasco.

Huasco para el año 2016 tiene una tasa de 19,2 x10.000 hab la cual está sobre el valor del país 7,8 x10.000 hab y la región 6,98 x10.000 hab.

### Morbilidad por egresos hospitalarios por asma (CIE 10: J45-J46)

Figura 20. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por asma para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

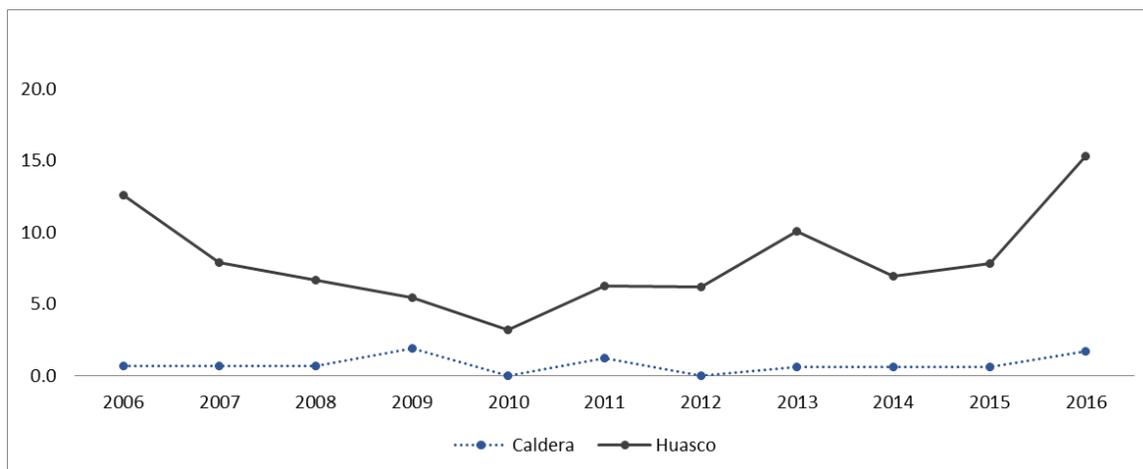


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios por asma para 2016: Chile 2,95- Región de Antofagasta: 2,56 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por asma tiene un comportamiento similar en las comunas de Mejillones y Tocopilla. Caldera tiene tasas que son inferiores a las comunas expuestas, de hecho, durante todo el periodo la tasa es inferior a 2 egresos hospitalarios por asma x10.000 hab.

En el año 2016, la tasa en Tocopilla fue de 5,8 y Mejillones 3,5 x10.000 hab, siendo ambas tasas superiores a la región y el país.

Figura 21. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por asma para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016

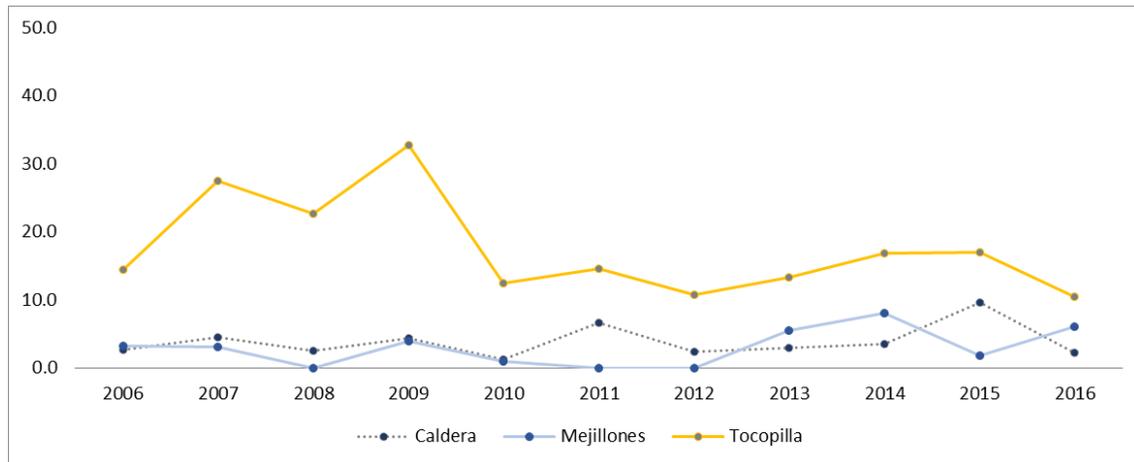


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios por asma para 2016: Chile 2,95- Región de Atacama: 4,42 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad en Huasco es superior a la tasa de Caldera en los 10 años de estudio. En el año 2016, la tasa de Huasco fue de 15,3 x10.000 hab, dicha tasa es superior a la región de Atacama y el valor país. Por otra parte, la tasa de Caldera en el año 2016 fue de 1,7 x10.000 hab.

#### 4.7.4 Morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda (CIE 10: J20-J21)

Figura 22. Tasas de egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

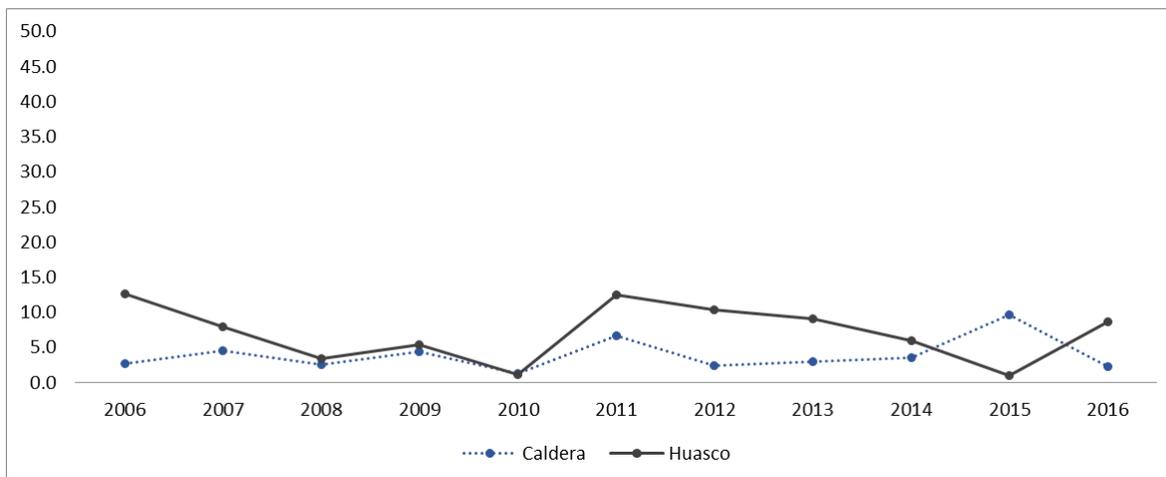


*Tasa de Morbilidad para egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para 2016: Chile 8,93- Región de Antofagasta: 4,54 X 10.000 habitantes*

La tasa de egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda es superior en la comuna de Tocopilla, respecto a Caldera y Mejillones. Estas últimas comunas, tienen un comportamiento similar a lo largo de todo el periodo.

La tasa de morbilidad en el año 2016 para Tocopilla fue de 10,4 x10.000 hab, cuyo valor es superior a la tasa del país y la región. En el caso de Mejillones, la tasa es de 6,1 x10.000 hab, dicha tasa es inferior al país y superior al valor regional.

Figura 23. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016

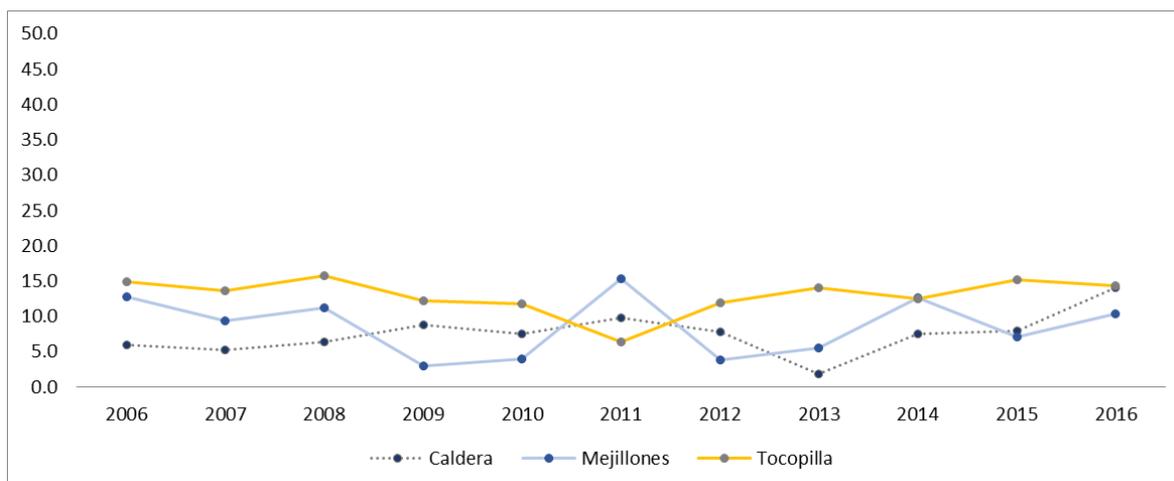


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para 2016: Chile 8,93- Región de Atacama: 4,64 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad en Caldera es inferior en gran parte del periodo respecto a Huasco. Sin embargo, en el año 2015 la tasa en Caldera tiene un alza llegando a 9,7 egresos hospitalarios por bronquitis x10.000 hab y en Huasco disminuye alcanzando el valor más bajo en el periodo correspondiente a 1,0 x10.000 hab. La tasa de Huasco al año 2016 fue de 8,6 x10.000 hab, dicho valor es inferior a Chile y superior al valor regional.

#### 4.7.5 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares (CIE 10: I60-I69)

Figura 24. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

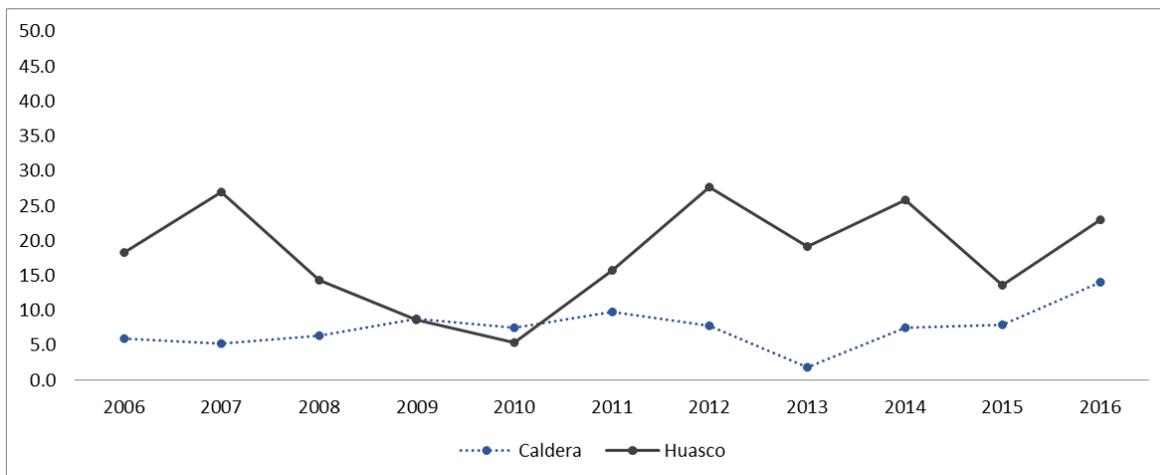


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares para 2016: Chile 16,18- Región de Antofagasta: 9,12 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares es mayor en la comuna de Tocopilla en gran parte del periodo, a excepción del año 2011, que es donde la comuna de Mejillones tiene una tasa más elevada. Caldera, hay años que tiene tasas más elevadas que Mejillones, como es el caso de los años 2009, 2010, 2012 y 2015.

Para el año 2016, la tasa de morbilidad en Tocopilla fue de 14,4, Mejillones 10,4 y Caldera 14 x10.000 hab. Las tres comunas tienen tasas más elevadas que el valor regional e inferior al valor nacional en el año 2016.

Figura 25. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016



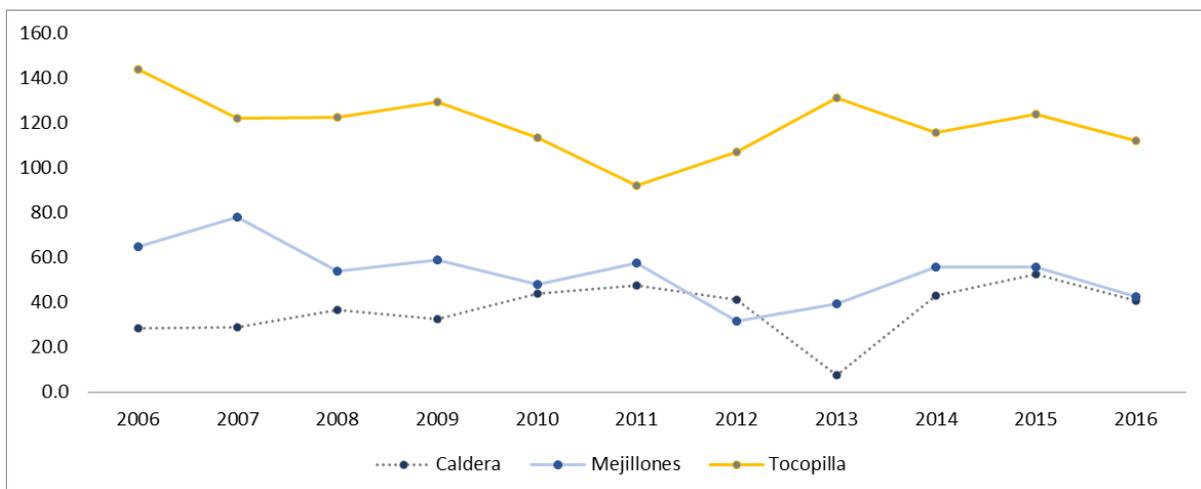
*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares para 2016: Chile 16,18- Región de Atacama: 14,27 X 10.000 habitantes*

En concordancia con lo visto en las tasas presentadas anteriormente, Huasco tiene una tasa de morbilidad más elevada en gran parte del periodo de estudio. Solo para el año 2010, la tasa es inferior a la de Caldera.

En el año 2016, la tasa de Huasco es de 23 x10.000 hab, dicho valor es superior al valor de Chile y la región de Atacama.

#### 4.7.6 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio (CIE 10: I00-I99)

Figura 26. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

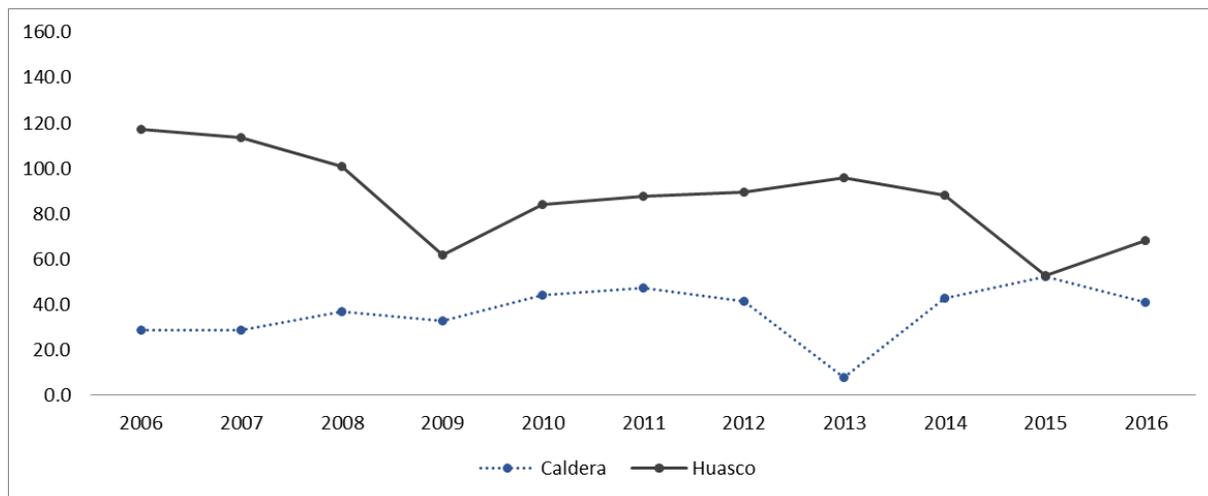


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio para 2016: Chile 69,24- Región de Antofagasta: 60,11 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio difiere de manera clara en el periodo. Destacándose la comuna de Tocopilla, que tiene valores superiores a las comunas de Mejillones y Caldera. En ese sentido, las tasas de Tocopilla en todo el periodo superan valores de 90 egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio x10.000 hab.

Al año 2016, la tasa de Tocopilla fue de 112,2 y para Mejillones de 42,5 x10.000 hab.

Figura 27. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016

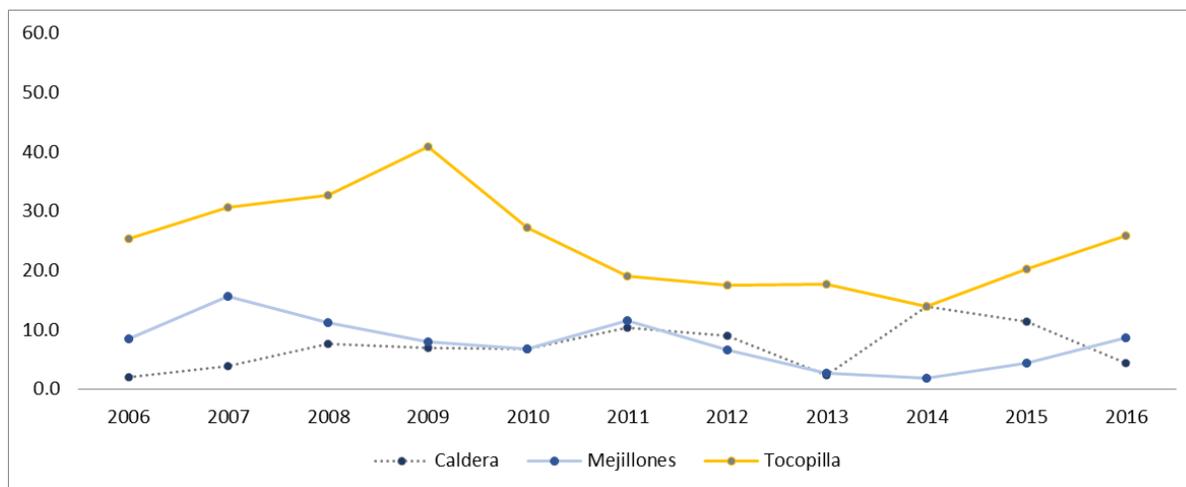


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio para 2016: Chile 69,24- Región de Atacama: 63,34 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio es mayor en Huasco respecto a Caldera. Sin embargo, en el año 2015, las tasas de ambas comunas se comportan de manera similar (52,4 en Caldera y 55,6 x 10.000 hab en Huasco). En el año 2016, la tasa de Huasco fue de 68,1 x10.000 hab, dicho valor es inferior al valor nacional y superior al regional.

#### 4.7.7 Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón (CIE 10: I20-I25)

Figura 28. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón para las comunas evaluadas de la región de Antofagasta, 2006-2016

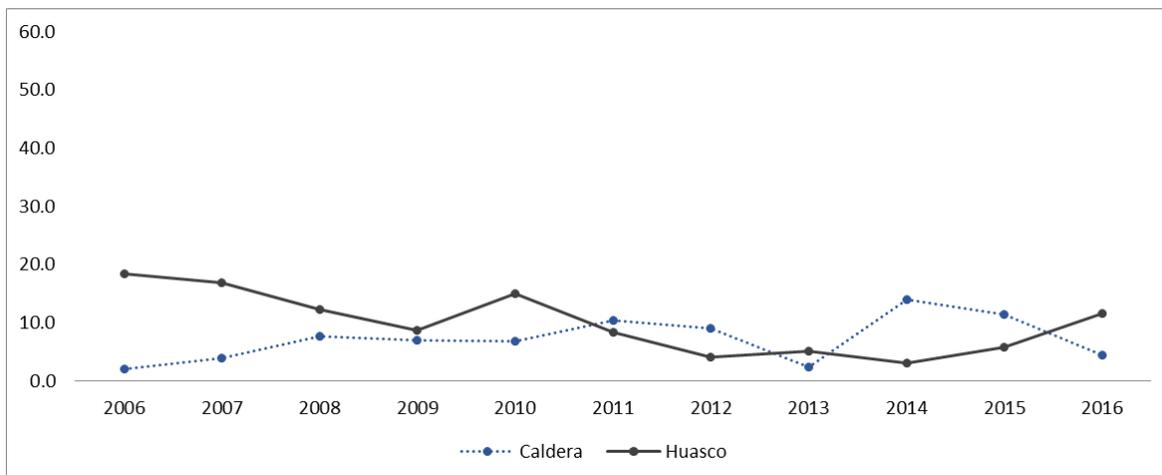


*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón para 2016: Chile 13,03- Región de Antofagasta: 13,10 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón es mayor en la comuna de Tocopilla respecto a las demás comunas. Caldera y Mejillones tienen un comportamiento relativamente similar en el periodo.

Al año 2016, la tasa de morbilidad de Tocopilla fue de 25,9 x10.000 hab, dicho valor es superior a las tasas del país y región. Por otra parte, la tasa de Mejillones fue de 8,7 y de 4,5 x10.000 hab para la comuna de Caldera en el año 2016, ambas tasas son inferiores a los valores de Chile y la región de Antofagasta.

Figura 29. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón para las comunas evaluadas de la región de Atacama, 2006-2016



*Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón para 2016: Chile 13,03- Región de Atacama: 13,01 X 10.000 habitantes*

La tasa de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón fluctúa en ambas comunas a lo largo del periodo, así que no es posible visualizar una tendencia del comportamiento de las tasas en el periodo de tiempo. Al año 2016, la tasa de morbilidad de Caldera fue de 4,5 y para Huasco fue de 11,5 x10.000 hab. Ambas tasas descritas anteriormente, son inferiores a la tasa del país y la región.

#### 4.6 Razón de Morbilidad Estandarizada (RMorbilidadE)

Tabla 13. RMorbilidadE general respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad General respecto al país, año 2016				Morbilidad General respecto a la región, año 2016		
Región Antofagasta y Atacama						
	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.58	0.54	0.62	0.66	0.61	0.70
Mejillones	0.89	0.83	0.95	0.83	0.77	0.88
Tocopilla	1.34	1.29	1.38	1.25	1.21	1.29
Huasco	0.84	0.78	0.90	0.96	0.89	1.02

Al observar los riesgos relativos por egresos hospitalarios por cualquier causa en las comunas estudiadas, se observa que en la región de Antofagasta, la comuna de Tocopilla presenta un riesgo significativamente superior respecto al país y la región, con un RMorbilidadE de 1.34 y 1.25 respectivamente. Es decir, Tocopilla tiene un riesgo un 34% superior de presentar egresos hospitalarios respecto al país, y un 25% superior respecto a la región. Llama la atención que Mejillones tiene un riesgo relativo significativamente menor respecto al país y la región.

Tabla 14. RMorbilidadE por enfermedades del sistema respiratorio respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio respecto al país , año 2016				Morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio respecto a la región, año 2016		
Región Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
	Caldera	0.48	0.37	0.59	0.53	0.41
Mejillones	1.00	0.80	1.20	1.00	0.79	1.20
Tocopilla	1.76	1.59	1.93	1.75	1.58	1.92
Huasco	1.53	1.28	1.79	1.65	1.38	1.93

Al observar los resultados de egresos hospitalarios por enfermedades del sistema respiratorio, es posible identificar que Tocopilla y Huasco presentan riesgos relativos significativamente superiores respecto al país y la región. La comuna de Tocopilla presenta un 76% más de riesgo de enfermarse por causas respiratorias respecto a la tasa de morbilidad del país, con un IC al 95% significativo que va de (1,59 a 1,93) y un 75% más de riesgo respecto a la región con un IC de (1,58-1,92).

Huasco presenta un 53% más de enfermarse por causas respiratorias respecto a la tasa de morbilidad del país, con un IC al 95% significativo que va de (1,28 a 1,79) y un 65% más de riesgo respecto a la región con un IC de (1,38-1,93).

Tabla 15. RMorbilidadE por enfermedades de bronquitis o bronquiolitis respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades de bronquitis o bronquiolitis aguda respecto al país, año 2016				Morbilidad por enfermedades de bronquitis o bronquiolitis aguda respecto a la región, año 2016		
Región Antofagasta y Atacama						
	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.22	0.00	0.43	0.48	0.01	0.94
Mejillones	0.09	0.00	0.25	0.19	0.00	0.56
Tocopilla	1.10	0.70	1.50	2.42	1.54	3.30
Huasco	0.91	0.31	1.50	1.97	0.68	3.26

Al revisar los riesgos de los egresos hospitalarios por enfermedades de bronquitis o bronquiolitis aguda, la comuna de Tocopilla tiene mayor riesgo respecto a la región. Tanto Caldera como Mejillones, tienen un riesgo de morbilidad significativamente inferior respecto a Chile y la región.

Tabla 16. RMorbilidadE por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores respecto al país, año 2016				Morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.42	0.05	0.79	0.43	0.05	0.80
Mejillones	0.89	0.18	1.59	0.75	0.15	1.35
Tocopilla	1.97	1.38	2.57	1.90	1.33	2.47
Huasco	2.39	1.34	3.44	2.49	1.40	3.58

En relación a la morbilidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores, Tocopilla y Huasco tienen mayores riesgos que su región y el país. Tocopilla presenta un 97% más de riesgo por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores respecto a la tasa de morbilidad del país, con un I.C. al 95% que va de 1,38 a 2,57 y un 90% más de riesgo respecto a la región con un I.C. de 1,33-2,47.

El riesgo de enfermarse en Huasco por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores es 2,39 veces más alto respecto al país y 2,49 más alto respecto a la región, ambas RmorbilidadE tienen un I.C. significativo.

Tabla 17. RMorbilidadE morbilidad por asma respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por asma respecto al país, año 2016				Morbilidad por asma respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.56	0.00	1.18	0.41	0.00	0.88
Mejillones	1.18	0.02	2.34	1.36	0.03	2.68
Tocopilla	1.86	0.95	2.78	2.14	1.09	3.19
Huasco	4.97	2.54	7.41	3.19	1.63	4.75

Respecto a morbilidad por asma, es importante mencionar que, a nivel nacional, solo se reportaron al año 2016, 5.361 egresos hospitalarios por asma (ver anexo 8). Las comunas de Tocopilla y Huasco presentan mayores riesgos de egresos hospitalarios por esta causa en relación al país y la región. Destaca el caso de Huasco donde el riesgo de enfermar de asma es 4,97 veces más alto respecto al país y 3,19 veces respecto a la región.

Tabla 18. RMorbilidadE morbilidad por enfermedades del sistema circulatorio respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades del sistema circulatorio respecto al país, año 2016				Morbilidad por enfermedades del sistema circulatorio respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.69	0.53	0.84	0.69	0.53	0.85
Mejillones	0.79	0.57	1.01	0.76	0.55	0.97
Tocopilla	1.61	1.43	1.79	1.57	1.39	1.74
Huasco	0.94	0.72	1.16	0.95	0.73	1.17

La única comuna con mayor riesgo de enfermedades por patologías del sistema circulatorio es Tocopilla. Donde el RmorbilidadE es 61% más alto respecto al país y 57% más alto respecto a la región. Ambos riesgos son estadísticamente significativos.

Tabla 19. RMorbilidadE morbilidad por enfermedades isquémicas del corazón respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades isquémicas del corazón respecto al país, año 2016				Morbilidad por enfermedades isquémicas del corazón respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	0.40	0.12	0.67	0.36	0.11	0.62
Mejillones	0.85	0.32	1.38	0.71	0.27	1.15
Tocopilla	1.94	1.49	2.39	1.65	1.27	2.04
Huasco	0.83	0.36	1.30	0.78	0.34	1.21

Tocopilla, mantiene la tendencia en ser comuna que tiene riesgos de egresos hospitalarios por enfermedades isquémicas al corazón superior a la región y al país, con valores de 1,94 I.C. (1,49-2,39) respecto al país y 1,65 I.C. (1,27-2,04) respecto a la región.

Tabla 20. RMorbilidadE morbilidad por enfermedades cerebrovasculares respecto al país y la región, para todas las comunas, año 2016

Morbilidad por enfermedades cerebrovasculares respecto al país, año 2016				Morbilidad por enfermedades cerebrovasculares respecto a la región, año 2016		
Región						
Antofagasta y Atacama	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior	RME	I.C. Inferior	I.C. Superior
Caldera	1.04	0.63	1.45	1.08	0.65	1.50
Mejillones	0.87	0.38	1.37	1.25	0.54	1.95
Tocopilla	0.90	0.62	1.18	1.28	0.89	1.68
Huasco	1.38	0.83	1.93	1.41	0.85	1.98

En cuanto a morbilidad por enfermedades cerebrovasculares, en las comunas del norte no se observa que haya mayores riesgos de egresos hospitalarios que lo esperado en la región y el país. La única comuna que tiene un riesgo superior a 1 es Huasco, sin embargo, el intervalo de confianza no es estadísticamente significativo.

## V. Discusiones y conclusiones

Los hallazgos del presente estudio muestran que el riesgo de morir por cualquier causa en la comuna de Tocopilla es mayor que lo esperado en Chile y en sus regiones. Al tratarse de un estudio de tipo ecológico que sólo considera la variación temporal y la comparación geográfica en relación a la condición de exposición o no a centrales termoeléctricas a carbón o parques industriales, se recomienda tomar estos resultados con cautela ya que no se enfoca en la causalidad multifactorial de los daños en salud medidos ni su relación con otros factores relacionados con mortalidad en las comunas en estudio.

Al analizar el comportamiento de la mortalidad por causas específicas, debe considerarse que, en Chile, en términos generales, las tasas de mortalidad son bajas y en particular las mortalidades específicas y por ende las estimaciones de Razón de Mortalidad Estandarizada específicas tienen baja precisión (lo que se evidencia con intervalos amplios), dificultándose la obtención de intervalos de confianza significativos (sobre 1). En este escenario, es posible que no se observen los resultados esperados en algunas comunas.

Respecto a los cambios en la morbilidad general, medida a través de los egresos hospitalarios, los resultados establecen que la comuna de Tocopilla en la región de Antofagasta, presenta mayor riesgo de hospitalización respecto a Chile y la región.

Tomando en consideración los indicadores de riesgo de egresos hospitalarios según causas de enfermedades, se observa que las patologías más relevantes son las enfermedades asociadas a sistema respiratorio, incluyendo asma y bronquitis, las que muestran mayores riesgos en las comunas de Tocopilla y Huasco. Es importante resaltar que en Tocopilla además se observa mayor riesgo en enfermedades del sistema circulatorio e isquemia del corazón, es decir, Tocopilla muestra mayor riesgo en prácticamente todos los indicadores analizados en este estudio.

Consideración especial son los cambios observados a nivel de la población menor de 18 años. En lo referido a mortalidad, es reconocido que Chile no muestra indicadores de alerta de mortalidad en este grupo. Sin embargo, al revisar las tasas por grupos de

edad, a pesar de los números especialmente bajos en los estratos evaluados y las evidentes reducciones en las tasas obtenidas el año 2016 respecto al 2006; es de alerta que el año 2016 en la comuna control correspondiente a Caldera, las tasas sean significativamente menores que las obtenidas en Huasco, Tocopilla o Mejillones, en similar estrato de edad.

Los resultados obtenidos deben ser tomados en cuenta como una primera aproximación al estado de salud de las comunidades evaluadas, establecido a partir de una metodología de investigación que utiliza datos de salud recolectados de manera rutinaria por la autoridad de salud. Sin embargo, estos hallazgos sólo deben interpretarse a nivel agrupado con la salvedad de que no exploran varias otras condiciones que pueden afectar el resultado de salud medido, tanto como mortalidad como de morbilidad.

Finalmente, es necesario establecer una agenda de investigación más integral que pueda medir otros factores de riesgo y que permita medir el rol de cada una de las variables específicas para las alteraciones respiratorias y cardiovasculares identificadas como las más relevantes en la población.

## VI. Bibliografía

Andersen, Z., Kristiansen, L., Andersen, K., Olsen, T., Hvidberg, M., Jensen, S., et al. (2012). Stroke and long-term exposure to outdoor air pollution from nitrogen dioxide: a cohort study. *Stroke*. 43:320–325.

Atkinson, R., Yu, D., Armstrong, BG., Pattenden, S., Wilkinson, P., Doherty, R. et al. (2012). Concentration-response function for ozone and daily mortality: results from five urban and five rural U.K. populations. *Environ Health Perspect* 120(10): 1411-1417.

Borja, V. (2000). Estudios ecológicos. *Salud Pública de México*. Vol 42, N6, noviembre-diciembre.

Cortés, S. Yohannessen, K. Tellerías, L. Ahumada, E. . (2019). Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional? *Revista Chilena de Pediatría*, 90(1):102-114.

Health and Environment Alliance (HEAL) (2017). Boosting health by improving air quality in the Balkans. Published Diciembre 2017 [revisado el 19 de enero de 2018]. Disponible en [https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017\\_-\\_boosting\\_health\\_by\\_improving\\_air\\_quality\\_in\\_the\\_balkans\\_ied\\_briefing.pdf](https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017_-_boosting_health_by_improving_air_quality_in_the_balkans_ied_briefing.pdf).

Heroux, M. E., et al. (2015). Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health*, 60(5): 619-627.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2017). Resultados Censo 2017. Recuperado el 3 de enero de: <https://resultados.censo2017.cl/>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE<sub>b</sub>) (2017). Demográficas vitales. Recuperado el 29 de enero de : <https://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>

Ministerio de Salud (MINSAL) (2008). Aprueba norma general técnica que establece uso de la décima revisión de la clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud para la codificación de las causas de muerte y de enfermedad. N°1.  
<https://repositoriodeis.minsal.cl/deis/rem2008/100408/NormatecnicaCIE10.pdf> .

Ministerio de Desarrollo Social (2015). Encuesta Casen 2015. Recuperado el 3 de enero de: [http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/casen\\_2015.php](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/casen_2015.php)

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) (2010). Decreto 70: Establece Plan de Descontaminación Atmosférico para la ciudad de Tocopilla y su zona circundante.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) (2017). Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la localidad de Huasco y zona circundante (MP10) N°40/2011, del MMA Publicado 23/05/2012.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (s.f). Determinantes sociales de la salud. Recuperado el 29 de enero de 2019 de: [https://www.who.int/social\\_determinants/es/](https://www.who.int/social_determinants/es/)

Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015). Clasificación Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud, décima revisión. Recuperado el 2 de abril de 2019 de: <http://www.deis.cl/wp-content/uploads/2013/08/Volume-1-CIE-10-2016-cha.pdf>

PNUD-Ministerio de Desarrollo Social (2003). Las trayectorias del Desarrollo Humano en las comunas de Chile (1994-2003). Recuperado el 4 de enero de: <http://desarrollohumano.cl/idh/download/idhc%20con%20portada.pdf>

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Ministerio del Medio Ambiente (2018). Datos RETC. Recuperado el 2 de enero de: <http://www.retc.cl/datos-retc/>

Ruiz, P. Arias, N. Pardo, S. Meyer, M. Mesías, S. Galleguillos, C. Schiattino, I. Gutuiérrez, L. (2016). Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study. *Environment International* 92-93, 130-138.

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) (2018). Información histórica. Recuperado el 2 de enero de 2019: <https://sinca.mma.gob.cl/>

Xie, W., Li, G., Zhao, D., Xie, X., Wei, Z., Wang, W., et al. (2015). "Relationship between fine particulate air pollution and ischaemic heart disease morbidity and mortality." *Heart* 101(4): 257-263.

## VII. Anexos

### Anexo 1: Tasas de mortalidad general y específicas para Chile y las regiones de Antofagasta, Atacama, años 2006, 2011 y 2016

Tabla 21. Tasa de mortalidad general por 10.000 hab's para todas las regiones

Tasa de mortalidad general x 10.000 hab's			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	52,12	45	45,92
2011	55,05	45,88	49,39
2016	57,18	48,27	48,25

Tabla 22. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular por 10.000 hab's para todas las regiones

Tasa de Mortalidad por enfermedad cardiovascular x 10.000 hab's			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	14,75	12,11	11,33
2011	14,92	10,47	11,57
2016	15,47	10,38	13,58

Tabla 23. Tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares por 10.000 hab's para todas las regiones

Tasa de Mortalidad por enfermedades cerebrovasculares x 10.000 hab's			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	4,66	3,61	3,82
2011	5,06	3,54	4,6
2016	4,64	3,28	4,29

Tabla 24. Tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón por 10.000 hab's para todas las regiones

Tasa de Mortalidad por enfermedad isquémica del corazón x 10.000 hab's			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	4,86	5,61	2,88
2011	4,17	3,33	2,74
2016	4,48	2,96	3,09

Tabla 25. Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio por 10.000  
habs para todas las regiones

Tasa de Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio x 10.000 habs			
Año	<i>Chile</i>	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	4,71	3,32	5,24
2011	5,28	4,01	5,55
2016	5,41	4,26	4,61

Tabla 26. Tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, pulmón y bronquios  
por 10.000 habs para todas las regiones

Tasa de Mortalidad por tumores malignos de tráquea, pulmón y bronquios x 10.000 habs			
Año	<i>Chile</i>	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	1,48	3,15	1,64
2011	1,61	3,45	1,56
2016	1,74	3,04	1,93

**Anexo 2: Tasas de mortalidad general y específicas para las comunas de estudio, periodo 2006-2016.**

Tabla 27. Tasa de mortalidad general por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	49,8	69,1	30,6	56,2
2007	36,4	67,0	30,7	60,8
2008	37,7	63,4	37,3	46,5
2009	51,9	57,5	36,0	56,4
2010	37,2	64,2	38,4	61,7
2011	37,4	60,7	41,4	61,7
2012	41,3	69,8	40,1	67,8
2013	50,6	71,1	41,2	55,4
2014	40,6	65,0	40,5	50,6
2015	31,8	72,1	49,0	60,4
2016	37,3	65,1	47,1	63,3

Tabla 28. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular por 10.000 habitantes para las comunas de estudio , años 2006-2016

Años	Tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular (CIE 10: I00-I99)		
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*
2006	9,5	15,2	10
2007	2,1	17,8	11,8
2008	8,2	16,1	12,2
2009	10	12,6	5,7
2010	8,8	14,7	12,4
2011	7,7	13,5	9,7
2012	14,1	16,7	15
2013	12	18,8	11,8
2014	11,7	14,2	12,7
2015	6,2	19,9	10,8
2016	7,8	15,8	16,3

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 29. Tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares (CIE 10: I60-I69)			
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	2,1	5,9	4,7	4,6
2007	1	4,6	2,6	12,4
2008	4,1	5,4	1,9	7,7
2009	3	3,8	0	4,3
2010	3,9	3,8	3,7	2,1
2011	1	4,9	3,7	5,2
2012	1,9	8,2	5,4	6,2
2013	2,8	6,3	2,9	4
2014	4,5	5,1	5,2	1
2015	0,9	7,2	4	8,8
2016	3,5	5	3,9	17,3

Tabla 30. Tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón (CIE 10: I20-I25)			
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	4,2	3,9	3,3	5,7
2007	2,1	7,7	3,3	3,4
2008	1	6,1	5,1	4,4
2009	5	3,4	2,5	7,6
2010	2,9	5,3	2,5	5,3
2011	1,9	4,1	1,2	6,3
2012	2,8	4,5	4,2	5,1
2013	2,8	6,3	4,1	4
2014	4,5	5,1	2,9	6
2015	1,8	4,7	3,4	2,9
2016	0,9	3,6	2,2	1

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 31. Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio (CIE 10: J00-J99)			
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	0	5,1	2	6,9
2007	2,1	6,6	2	4,5
2008	2	4,6	5,8	2,2
2009	5	5,3	1,9	6,5
2010	6,8	4,9	1,9	10,6
2011	1	8,2	2,4	6,3
2012	3,8	10	4,2	6,2
2013	2,8	10,3	5,3	4
2014	5,4	9,9	3,5	6,9
2015	4,4	5,8	5,7	5,8
2016	3,5	5,4	2,8	3,8

Tabla 32. Tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón (CIE 10: C30-C34)			
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	6,2	0,7	1,1
2007	2,1	3,5	0,7	0
2008	5,1	5	2,6	1,1
2009	3	5,3	0,6	0
2010	2	4,2	0,6	1,1
2011	2,9	4,5	3,7	2,1
2012	3,8	4,1	1,8	4,1
2013	7,4	5,5	1,8	1
2014	0	3,7	1,7	2
2015	0,9	4,7	1,1	1,9
2016	4,3	4,7	2,2	1,9

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

### Anexo 3: Tasas de mortalidad perinatal

La tasa de mortalidad por malformaciones al nacer y por bajo peso al nacer, tiene un número de casos pequeño, por lo cual, realizar el cálculo de tasas por comuna resulta complejo. Por ello, a continuación, se presentan las tasas de mortalidad agrupando los casos de las comunas expuestas y no expuestas.

Tabla 33. Tasa de mortalidad por malformaciones al nacer CIE 10: P00-P04 por 10.000 habitantes \*

<b>Tasa de mortalidad por malformaciones al nacer P00-P04</b>			
<b>Año</b>	<b>Expuestos</b>	<b>Expuestos Complejo industrial</b>	<b>No expuestos</b>
2006	0,0	0,0	0,0
2007	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	4,8	0,0
2010	13,8	0,0	4,5
2011	0,0	0,0	9,0
2012	14,1	14,3	4,6
2013	14,2	0,0	4,6
2014	0,0	0,0	0,0
2015	0,0	4,6	0,0
2016	0,0	0,0	0,0

Tabla 34. Tasa de mortalidad por bajo peso al nacer – prematuros CIE10: P07 por 10.000 habitantes \*

<b>Tasa de mortalidad por bajo peso al nacer- prematuros CIE 10: P07</b>			
<b>Año</b>	<b>Expuestos</b>	<b>Expuestos Complejo industrial</b>	<b>No expuestos</b>
2006	0,0	10,2	14,4
2007	0,0	14,9	9,5
2008	14,5	9,7	4,6
2009	0,0	23,8	4,5
2010	0,0	23,4	18,0
2011	0,0	14,0	13,6
2012	0,0	14,3	9,2
2013	0,0	23,8	18,5
2014	0,0	23,3	4,6
2015	13,9	9,2	13,8
2016	0,0	13,6	4,6

\*para las causas específicas P00-P04 y P07, se utilizó como denominador el total poblacional por comuna, de edad 0 (entregado por la base del INE)

#### Anexo 4: Tasas de mortalidad general y específicas por grupos de edad para Chile y las regiones de estudio

Tabla 35. Tasa de mortalidad general por 10.000 habitantes para Chile por grupos de edad, año 2016

Nombre	Grupo Edad							Total
	0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	
<i>Chile</i>	12,9	1,3	3,3	9,5	45,1	213,4	1048,5	57,2
Región de Arica y Parinacota	12,2	2,8	3,8	12,0	46,5	219,2	917,0	52,2
Región de Tarapacá	13,1	1,1	3,7	9,2	41,3	217,7	1069,3	41,7
<i>Región de Antofagasta</i>	14,7	1,9	4,1	10,2	51,7	246,3	1093,5	48,3
<i>Región de Atacama</i>	17,0	1,2	5,8	8,6	37,7	221,6	970,1	48,2
Región de Coquimbo	13,0	2,3	2,6	9,4	43,6	187,4	944,7	54,9
Región de Valparaíso	12,2	1,2	2,7	9,1	45,9	218,4	1077,7	67,2
Región del Libertador Gral, Bernardo O'Higgins	13,8	1,6	3,5	10,4	44,1	212,6	1074,7	59,9
Región del Maule	12,4	1,0	3,5	10,2	45,2	235,0	1124,2	62,6
Región del Biobío	12,7	1,1	2,7	10,1	49,1	219,7	1017,7	60,2
Región de La Araucanía	13,2	1,4	4,2	11,3	54,2	232,9	1073,7	65,9
Región de Los Ríos	13,0	1,3	3,4	10,8	54,3	226,8	1152,2	66,0
Región de Los Lagos	14,7	1,4	3,5	11,8	52,6	225,3	1043,5	59,6
Región de Aysén del Gral, Carlos Ibáñez del Campo	11,7	3,4	1,0	9,6	45,4	207,5	805,6	43,6
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	11,7	0,6	6,6	10,4	50,2	272,2	1167,8	64,6
Región Metropolitana de Santiago	12,4	1,2	3,2	8,5	41,2	200,4	1040,9	53,1

\* A pesar de que todas las tasas son más altas que la de Chile, la total es más baja porque la mayor mortalidad se produce en > de 80 años, y la proporción de este grupo etario en Antofagasta es mucho menor que la de Chile, de hecho, la mitad.

Tabla 36. Tasa de mortalidad general para Chile por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Chile		
	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	1919	12,9
6-12	1696396	224	1,3
13-18	1518087	499	3,3
19-44	7122443	6752	9,5
45-64	4437480	20019	45,1
65-79	1528252	32609	213,4
80>	400616	42004	1048,5
Total	18191884	104026	57,2

Tabla 37. Tasa de mortalidad general para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Región de Antofagasta			Región de Atacama		
	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	88	14,7	30054	51	17,0
6-12	64406	12	1,9	32709	4	1,2
13-18	53031	22	4,1	27397	16	5,8
19-44	258824	264	10,2	122016	105	8,6
45-64	147554	763	51,7	75550	285	37,7
65-79	39828	981	246,3	23286	516	221,6
80>	8413	920	1093,5	5680	551	970,1
Total	631875	3050	48,3	316692	1528	48,2

Tabla 38. Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	49	0,33
6-12	1696396	7	0,04
13-18	1518087	13	0,09
19-44	7122443	217	0,30
45-64	4437480	1022	2,30
65-79	1528252	2779	18,18
80>	400616	5760	143,78
Total	18191884	9847	5,41

Tabla 39. Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	4	0,67	30054	3	1,00
6-12	64406	0	0,00	32709	0	0,00
13-18	53031	0	0,00	27397	0	0,00
19-44	258824	6	0,23	122016	2	0,16
45-64	147554	39	2,64	75550	8	1,06
65-79	39828	88	22,10	23286	60	25,77
80>	8413	132	156,90	5680	73	128,52
Total	631875	269	4,26	316692	146	4,61

Tabla 40. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	18	0,12
6-12	1696396	6	0,04
13-18	1518087	21	0,14
19-44	7122443	666	0,94
45-64	4437480	4328	9,75
65-79	1528252	8957	58,61
80>	400616	14150	353,21
Total	18191884	28146	15,47

Tabla 41. Tasa de mortalidad por enfermedad cardiovascular para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	0	0,00	30054	1	0,33
6-12	64406	1	0,16	32709	1	0,31
13-18	53031	0	0,00	27397	1	0,37
19-44	258824	21	0,81	122016	16	1,31
45-64	147554	165	11,18	75550	74	9,79
65-79	39828	217	54,48	23286	140	60,12
80>	8413	252	299,54	5680	197	346,83
Total	631875	656	10,38	316692	430	13,58

Tabla 42. Tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	3	0,02
6-12	1696396	1	0,01
13-18	1518087	3	0,02
19-44	7122443	179	0,25
45-64	4437480	1199	2,70
65-79	1528252	2811	18,39
80>	400616	4241	105,86
Total	18191884	8437	4,64

Tabla 43. Tasa de mortalidad por enfermedades cerebrovasculares para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	0	0,00	30054	0	0,00
6-12	64406	0	0,00	32709	0	0,00
13-18	53031	0	0,00	27397	1	0,37
19-44	258824	8	0,31	122016	7	0,57
45-64	147554	35	2,37	75550	21	2,78
65-79	39828	79	19,84	23286	45	19,32
80>	8413	85	101,03	5680	62	109,15
Total	631875	207	3,28	316692	136	4,29

Tabla 44. Tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	0	0,00
6-12	1696396	0	0,00
13-18	1518087	2	0,01
19-44	7122443	212	0,30
45-64	4437480	1821	4,10
65-79	1528252	2964	19,39
80>	400616	3156	78,78
Total	18191884	8155	4,48

Tabla 45. Tasa de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	0	0,00	30054	0	0,00
6-12	64406	0	0,00	32709	0	0,00
13-18	53031	0	0,00	27397	0	0,00
19-44	258824	5	0,19	122016	2	0,16
45-64	147554	72	4,88	75550	28	3,71
65-79	39828	61	15,32	23286	35	15,03
80>	8413	49	58,24	5680	33	58,10
Total	631875	187	2,96	316692	98	3,09

Tabla 46. Tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	0	0,00
6-12	1696396	0	0,00
13-18	1518087	0	0,00
19-44	7122443	45	0,06
45-64	4437480	770	1,74
65-79	1528252	1576	10,31
80>	400616	776	19,37
Total	18191884	3167	1,74

Tabla 47. Tasa de mortalidad por tumores malignos de tráquea, bronquios y pulmón para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Región de Antofagasta			Región de Atacama		
	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N muertes	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	0	0,00	30054	0	0,00
6-12	64406	0	0,00	32709	0	0,00
13-18	53031	0	0,00	27397	0	0,00
19-44	258824	2	0,08	122016	0	0,00
45-64	147554	55	3,73	75550	13	1,72
65-79	39828	104	26,11	23286	34	14,60
80>	8413	31	36,85	5680	14	24,65
Total	631875	192	3,04	316692	61	1,93

**Anexo 5: Tasas de morbilidad general y específicas para Chile y las regiones de referencias, años 2006, 2011 y 2016**

Tabla 48. Tasa de morbilidad general por 10.000 hab, año 2016

Tasa de morbilidad general x 10.000 hab			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	1002.9	1275.6	976.3
2011	955.5	1137.6	1121.4
2016	900.0	932.1	773.9

Tabla 49. Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio por 10.000 hab, año 2016

Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio x10.000 hab			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	104,67	117,7	97,96
2011	95,96	95,57	123,51
2016	85,93	82,58	79,41

Tabla 50. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores por 10.000 hab, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores x10.000 hab			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	13,89	13,81	14,6
2011	9,61	10,35	14,51
2016	7,8	7,25	6,98

Tabla 51. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por asma  
Por 10.000 habs, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por asma x10.000 habs			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	2,83	3,34	1,78
2011	2,77	2,66	4,67
2016	2,95	2,56	4,42

Tabla 52. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda por 10.000 habs, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda x10.000 habs			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	7,85	6,05	6,85
2011	9,44	5,6	8,9
2016	8,93	4,54	4,64

Tabla 53. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares 10.000 habs, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares x 10.000 habs			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	13,38	9,7	10,49
2011	15,87	10,2	13,4
2016	16,18	9,12	14,27

Tabla 54. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio 10.000 hab, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio x 10.000 hab			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	69,32	81,86	64,35
2011	72,12	80,04	73,04
2016	69,24	60,11	63,34

Tabla 55. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón 10.000 hab, año 2016

Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón x 10.000 hab			
Año	Chile	Región de Antofagasta	Región de Atacama
2006	14,27	16,15	13,51
2011	13,61	15,73	14,14
2016	13,03	13,1	13,01

### Anexo 6: Tasas de morbilidad general y específicas para las comunas de estudio, periodo 2006-2016

Tabla 56. Tasas de morbilidad general por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	1041,2	1722,3	530,4	1361,1
2007	981,1	1661,8	628,6	1419,6
2008	957,2	1451,2	619,6	1258,0
2009	862,8	1556,8	709,5	1063,8
2010	822,8	1194,1	682,7	1072,1
2011	707,2	1173,9	823,5	1123,4
2012	587,5	1145,9	549,4	998,3
2013	752,2	1169,2	341,5	1195,7
2014	774,6	1116,2	550,3	979,9
2015	862,1	1218,9	494,8	786,3
2016	763,4	1181,7	500,3	752,7

Tabla 57. Tasa de Morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades del sistema respiratorio por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 58. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

Tabla 59. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por asma por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	1,1	8,2	0,7	12,6
2007	2,1	5,0	0,7	7,9
2008	1,0	4,2	0,6	6,6
2009	4,0	3,0	1,9	5,4
2010	0,0	0,4	0,0	3,2
2011	1,0	1,5	1,2	6,3
2012	0,9	3,0	0,0	6,2
2013	6,4	6,3	0,6	10,1
2014	2,7	4,0	0,6	6,9
2015	2,7	2,2	0,6	7,8
2016	3,5	5,8	1,7	15,3

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 60. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda por 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 61. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades cerebrovasculares 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

Tabla 62. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades del sistema circulatorio 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

Tabla 63. Tasas de morbilidad por egresos hospitalarios de enfermedades isquémicas del corazón 10.000 habitantes para las comunas de estudio, años 2006-2016

Años	Región de Antofagasta		Región de Atacama	
	Mejillones	Tocopilla	Caldera*	Huasco
2006	8,5	25,4	2,0	18,3
2007	15,6	30,6	3,9	16,9
2008	11,2	32,7	7,7	12,2
2009	8,0	40,8	6,9	8,7
2010	6,8	27,2	6,8	14,9
2011	11,5	19,1	10,4	8,4
2012	6,6	17,5	9,0	4,1
2013	2,8	17,7	2,4	5,0
2014	1,8	13,9	13,9	3,0
2015	4,4	20,3	11,4	5,8
2016	8,7	25,9	4,5	11,5

\*Comunas no expuestas a termoeléctricas a carbón

## Anexo 7: Tasas de morbilidad perinatal

La tasa de morbilidad por malformaciones al nacer y por bajo peso al nacer, tiene un número de casos pequeño, por lo cual, realizar el cálculo de tasas por comuna resulta complejo. Por ello, a continuación, se presentan las tasas de morbilidad agrupando los casos de las comunas expuestas y no expuestas.

Tabla 64. Tasa de morbilidad por bajo peso al nacer – prematuros CIE10: P07 por 10.000 habitantes

<b>Tasa de morbilidad por bajo peso al nacer CIE 10: P07</b>			
<b>Año</b>	<b>Expuestos</b>	<b>Expuestos parque industrial</b>	<b>No expuestos</b>
2006	186,9	71,1	311,0
2007	178,8	124,4	255,4
2008	246,0	111,9	208,6
2009	84,3	128,5	268,1
2010	207,5	88,8	170,6
2011	139,1	56,1	230,6
2012	155,4	147,3	133,3
2013	269,9	185,9	152,9
2014	225,0	121,4	193,5
2015	111,4	169,6	238,6
2016	97,9	204,5	252,9

Tabla 65. Tasa de morbilidad por malformaciones al nacer CIE 10: P00-P04 por 10.000 habitantes

<b>Tasa de morbilidad por malformaciones al nacer CIE 10: P00-P04</b>			
<b>Año</b>	<b>Expuestos</b>	<b>Expuestos Complejo industrial</b>	<b>No expuestos</b>
2006	872,3	40,7	38,3
2007	834,6	79,6	56,8
2008	405,2	82,7	55,6
2009	449,4	80,9	54,5
2010	414,9	93,5	71,8
2011	180,8	84,1	49,7
2012	56,5	61,8	69,0
2013	99,4	47,7	41,7
2014	112,5	79,4	41,5
2015	139,3	146,7	78,0
2016	42,0	68,2	46,0

### Anexo 8: Tasas de morbilidad general y específicas por grupos de edad para Chile y las regiones de estudio

Tabla 66. Tasa de morbilidad general por 10.000 habitantes para Chile por grupos de edad, año 2016

Nombre	Grupo Edad							Total
	0-5	6-12	13-18	19-44	45-64	65-79	80>	
<i>Chile</i>	1095,8	374,6	488,9	872,4	820,5	1574,3	2752,6	900,0
Región de Arica y Parinacota	646,1	269,1	497,7	867,2	857,9	1696,1	2392,8	848,2
Región de Tarapacá	653,8	297,8	488,9	959,1	801,5	1441,4	2273,6	826,1
<i>Región de Antofagasta</i>	1100,5	436,0	538,6	965,3	904,5	1568,5	2467,6	932,1
<i>Región de Atacama</i>	859,1	316,7	448,6	787,5	705,2	1411,6	2533,5	773,9
Región de Coquimbo	836,9	279,0	411,5	716,6	591,3	1103,5	1792,6	688,5
Región de Valparaíso	1142,0	387,0	510,7	877,7	898,7	1715,6	2961,1	968,6
Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	1012,0	331,8	426,6	811,1	699,0	1338,1	2337,0	800,2
Región del Maule	958,1	347,9	440,5	859,2	730,9	1509,3	2999,4	856,0
Región del Biobío	1152,4	454,9	537,7	919,9	902,6	1762,3	3328,8	988,0
Región de La Araucanía	1305,2	484,7	560,3	933,8	889,0	1782,1	3444,9	1013,1
Región de Los Ríos	1397,8	489,2	606,3	906,5	978,9	2118,2	4167,8	1081,9
Región de Los Lagos	1078,1	389,3	524,2	908,9	898,4	1775,5	2950,3	947,7
Región de Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	1483,8	748,1	654,2	1066,6	1067,0	2271,1	3630,5	1153,4
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1002,8	564,1	749,9	1246,7	1345,6	2614,2	4538,3	1328,2
Región Metropolitana de Santiago	1131,2	336,9	456,2	844,2	779,5	1449,3	2408,0	857,2

Tabla 67. Tasa de morbilidad general para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	163127	1095,8
6-12	1696396	63553	374,6
13-18	1518087	74217	488,9
19-44	7122443	621383	872,4
45-64	4437480	364117	820,5
65-79	1528252	240594	1574,3
80>	400616	110274	2752,6
Total	18191884	1637265	900,0

Tabla 68. Tasa de morbilidad general para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	6583	1100,5	30054	2582	859,1
6-12	64406	2808	436,0	32709	1036	316,7
13-18	53031	2856	538,6	27397	1229	448,6
19-44	258824	24984	965,3	122016	9609	787,5
45-64	147554	13346	904,5	75550	5328	705,2
65-79	39828	6247	1568,5	23286	3287	1411,6
80>	8413	2076	2467,6	5680	1439	2533,5
Total	631875	58900	932,1	316692	24510	773,9

Tabla 69. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades del sistema respiratorio para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	51022	342,75
6-12	1696396	12662	74,64
13-18	1518087	4495	29,61
19-44	7122443	19792	27,79
45-64	4437480	19781	44,58
65-79	1528252	25145	164,53
80>	400616	23424	584,70
Total	18191884	156321	85,93

Tabla 70. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades del sistema respiratorio para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Región de Antofagasta			Región de Atacama		
	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	1766	295,22	30054	809	269,18
6-12	64406	565	87,72	32709	293	89,58
13-18	53031	175	33,00	27397	68	24,82
19-44	258824	799	30,87	122016	289	23,69
45-64	147554	800	54,22	75550	313	41,43
65-79	39828	676	169,73	23286	413	177,36
80>	8413	437	519,43	5680	330	580,99
Total	631875	5218	82,58	316692	2515	79,41

Tabla 71. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	13870	93,17
6-12	1696396	670	3,95
13-18	1518087	97	0,64
19-44	7122443	258	0,36
45-64	4437480	390	0,88
65-79	1528252	473	3,10
80>	400616	482	12,03
Total	18191884	16240	8,93

Tabla 72. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por bronquitis o bronquiolitis aguda para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Región de Antofagasta			Región de Atacama		
	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	248	41,46	30054	127	42,26
6-12	64406	15	2,33	32709	5	1,53
13-18	53031	2	0,38	27397	0	0,00
19-44	258824	6	0,23	122016	3	0,25
45-64	147554	9	0,61	75550	5	0,66
65-79	39828	2	0,50	23286	2	0,86
80>	8413	5	5,94	5680	5	8,80
Total	631875	287	4,54	316692	147	4,64

Tabla 73. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	2003	13,46
6-12	1696396	208	1,23
13-18	1518087	59	0,39
19-44	7122443	345	0,48
45-64	4437480	2489	5,61
65-79	1528252	5253	34,37
80>	400616	3839	95,83
Total	18191884	14196	7,80

Tabla 74. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Grupos de edad	Región de Antofagasta			Región de Atacama		
	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	212	35,44	30054	40	13,31
6-12	64406	10	1,55	32709	9	2,75
13-18	53031	3	0,57	27397	2	0,73
19-44	258824	16	0,62	122016	11	0,90
45-64	147554	71	4,81	75550	34	4,50
65-79	39828	100	25,11	23286	79	33,93
80>	8413	46	54,68	5680	46	80,99
Total	631875	458	7,25	316692	221	6,98

Tabla 75. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por asma para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	1125	7,56
6-12	1696396	1379	8,13
13-18	1518087	242	1,59
19-44	7122443	736	1,03
45-64	4437480	879	1,98
65-79	1528252	648	4,24
80>	400616	352	8,79
Total	18191884	5361	2,95

Tabla 76. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por asma para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	22	3,68	30054	6	2,00
6-12	64406	59	9,16	32709	10	3,06
13-18	53031	8	1,51	27397	3	1,10
19-44	258824	30	1,16	122016	21	1,72
45-64	147554	23	1,56	75550	27	3,57
65-79	39828	16	4,02	23286	37	15,89
80>	8413	4	4,75	5680	36	63,38
Total	631875	162	2,56	316692	140	4,42

Tabla 77. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades del sistema circulatorio para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	637	4,28
6-12	1696396	777	4,58
13-18	1518087	1170	7,71
19-44	7122443	13056	18,33
45-64	4437480	42927	96,74
65-79	1528252	45274	296,25
80>	400616	23332	582,40
Total	18191884	127173	69,91

Tabla 78. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades del sistema circulatorio para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	19	3,18	30054	16	5,32
6-12	64406	32	4,97	32709	12	3,67
13-18	53031	41	7,73	27397	21	7,67
19-44	258824	510	19,70	122016	194	15,90
45-64	147554	1581	107,15	75550	749	99,14
65-79	39828	1173	294,52	23286	665	285,58
80>	8413	442	525,38	5680	349	614,44
Total	631875	3798	60,11	316692	2006	63,34

Tabla 79. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades cerebrovasculares para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	74	0,50
6-12	1696396	79	0,47
13-18	1518087	105	0,69
19-44	7122443	2087	2,93
45-64	4437480	9040	20,37
65-79	1528252	11223	73,44
80>	400616	6833	170,56
Total	18191884	29441	16,18

Tabla 80. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades cerebrovasculares para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	1	0,17	30054	2	0,67
6-12	64406	7	1,09	32709	1	0,31
13-18	53031	5	0,94	27397	2	0,73
19-44	258824	53	2,05	122016	24	1,97
45-64	147554	189	12,81	75550	145	19,19
65-79	39828	205	51,47	23286	163	70,00
80>	8413	116	137,88	5680	115	202,46
Total	631875	576	9,12	316692	452	14,27

Tabla 81. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades isquémicas del corazón para Chile por grupos de edad, año 2016

Chile			
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	1488610	12	0,08
6-12	1696396	8	0,05
13-18	1518087	13	0,09
19-44	7122443	1406	1,97
45-64	4437480	10671	24,05
65-79	1528252	8816	57,69
80>	400616	2785	69,52
Total	18191884	23711	13,03

Tabla 82. Tasa de morbilidad por egresos hospitalarios por enfermedades isquémicas del para las regiones de Antofagasta y Atacama por grupos de edad, año 2016

Región de Antofagasta				Región de Atacama		
Grupos de edad	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs	Población INE	N morbilidad	Tasa x10.000 Habs
0-5	59819	0	0,00	30054	1	0,33
6-12	64406	1	0,16	32709	0	0,00
13-18	53031	0	0,00	27397	0	0,00
19-44	258824	82	3,17	122016	43	3,52
45-64	147554	445	30,16	75550	337	44,61
65-79	39828	245	61,51	23286	316	135,70
80>	8413	55	65,38	5680	96	169,01
Total	631875	828	13,10	316692	793	25,04

# IMPACTOS DE LAS EMISIONES DE LAS TERMOELÉCTRICAS A CARBON EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE HUASCO Y PUCHUNCAVÍ

Documento preparado por Greenpeace, Chile Sustentable y KAS Ingenieros

Autores:

Lauri Myllyvirta, Greenpeace Global Air Pollution Unit  
Aidan Farrow, Greenpeace Science Unit.  
Claudia Fuentes, Fundación Chile Sustentable  
Alonso Fernández, KAS Ingenieros Chile

Editores:

Sara Larraín, Fundación Chile Sustentable  
Pamela Poo, Fundación Chile Sustentable

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. ANTECEDENTES SOBRE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE SOBRE EMISIONES ATMOSFERICAS DE TERMOELÉCTRICAS EN CHILE .....	3
3.1. DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO 1: PUCHUNCAVÍ.....	4
3.2. DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO 2: HUASCO.....	5
3.3. MÉTODO.....	5
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
4.1. ZONA DE ESTUDIO 1: PUCHUNCAVI.....	11
4.2. ZONA DE ESTUDIO 2: HUASCO .....	17
4.3. OTROS ANÁLISIS Y DESAFÍOS DE ESTUDIOS FUTUROS .....	22
5. CONCLUSIONES.....	23
6. REFERENCIAS .....	24

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile el 78% de las emisiones de CO<sub>2</sub> son provocadas por el sector de la energía, siendo el principal responsable la generación eléctrica que aporta con un 41,5% de estas emisiones, las cuales están asociadas mayoritariamente al funcionamiento de la industria de la energía en base a combustibles fósiles como el carbón. (MMA, 2018).

La industria termoeléctrica a carbón con todas sus etapas del ciclo de vida - extracción, transporte, combustión y cenizas postcombustión - tiene impactos en el medio ambiente y en la salud de la población. La quema de este combustible libera contaminantes atmosféricos como: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y metales pesados como el mercurio (Hg), vanadio (V), níquel (Ni) y plomo (Pb), los cuales afectan gravemente los ecosistemas y poblaciones locales (Lockwood et al., 2009).

Las instalaciones termoeléctricas basadas en el uso del carbón representan un riesgo a la salud en comunidades expuestas por cuanto afectan los principales órganos corporales favoreciendo enfermedades cardíacas, cáncer, accidentes cerebro-vasculares y enfermedades crónicas respiratorias. Esos riesgos se incrementan si las tecnologías son deficientes en el control de emisiones y las poblaciones receptoras muestran condiciones de vulnerabilidad como pobreza, escaso acceso a salud y la presencia de grupos susceptibles como niños, embarazadas y adultos mayores (Cortés et al., 2019).

En Chile, un 38% de su generación eléctrica es en base a carbón, contando con un parque constituido por 28 unidades termoeléctricas a carbón, con potencia bruta de casi de 5,6 GW, localizadas en 6 comunas del país, (CNE, 2018) que en su mayoría han sido declaradas latentes o saturadas de contaminantes atmosféricos locales (D.S 50, 2007; D.S 74, 2008; D.S 10, 2015; D.S 40, 2012; D.S 41, 2006). En la Comuna de Puchuncaví, se encuentran emplazadas 4 unidades, en la comuna de Huasco 5 unidades, en la comuna de Tocopilla 7 unidades, en la comuna de Mejillones 8 unidades, y en Iquique 1 Unidad (Chile Sustentable, 2017).

A continuación se presenta un análisis de la calidad del aire y la proyección de los impactos potenciales sobre la salud de la población local, debido a la presencia y operación de las plantas a carbón presentes en las comunas de Puchuncaví y Huasco. La información sobre generación en base a combustión de carbón corresponden al Coordinador Eléctrico Nacional; y la información sobre emisiones corresponde a la Superintendencia de Medio Ambiente.

### OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objeto de este estudio es evaluar cuantitativa y cualitativamente el efecto generado por la operación de 4 centrales termoeléctricas en la comuna de Puchuncaví, en la región de Valparaíso, y 5 unidades termoeléctricas a carbón en la comuna de Huasco, región de Atacama, sobre la calidad del aire en las respectivas comunas y modelar la dispersión territorial de los contaminantes atmosféricos; estableciendo los niveles de concentración de dichos tóxicos y su comparación con los estándares sanitarios internacionales recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

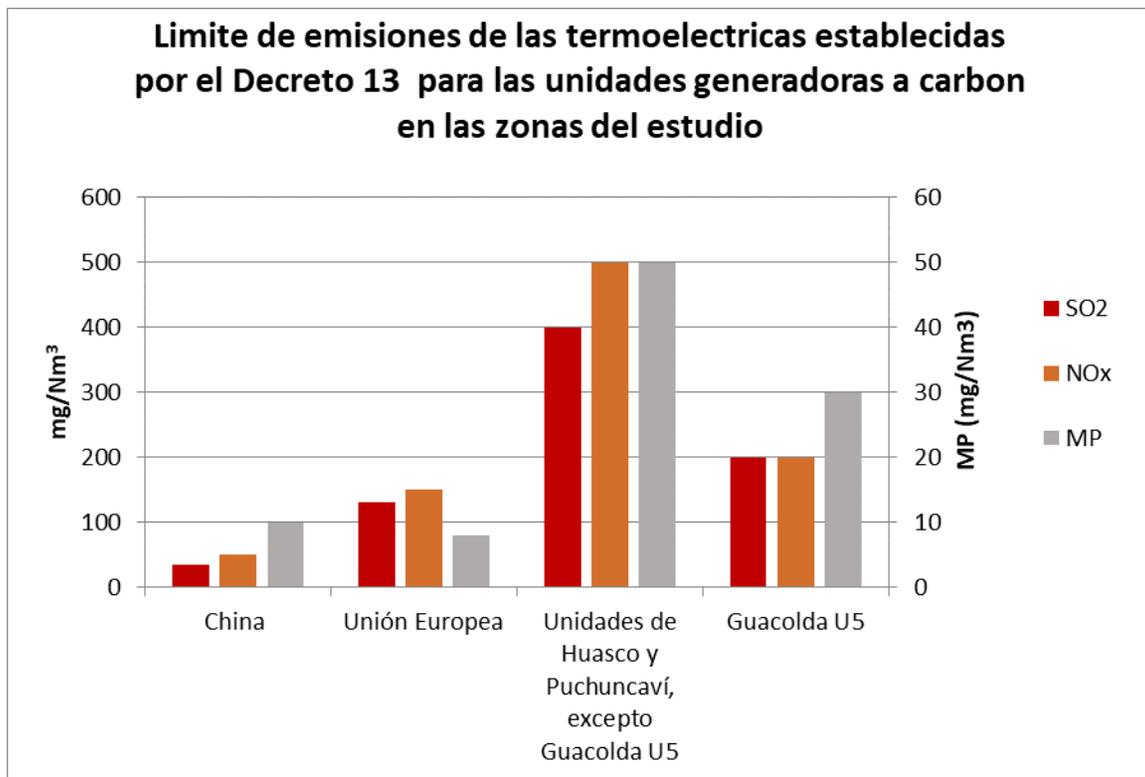
#### Los Objetivos Específicos del estudio, buscaron:

- Estimar cuantitativamente el nivel de emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado (MP) producto de la operación de 4 termoeléctricas a carbón en Puchuncaví y las 5 localizadas en Huasco.
- Modelar la dispersión de las emisiones contaminantes generadas, utilizando el sistema de modelación CALPUFF.
- Recopilar y procesar los datos entregados por las estaciones de monitoreo de la calidad del aire más cercanas al parque termoeléctrico en cada comuna, a fin de contrastarlos con los resultados de la modelación de la dispersión de contaminantes.

## 2. ANTECEDENTES SOBRE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE SOBRE EMISIONES ATMOSFERICAS DE TERMOELÉCTRICAS EN CHILE

Todas las unidades termoeléctricas del país deben cumplir con la normativa ambiental vigente aplicable, las cuales están reguladas por el Decreto Supremo N°13 que norma las emisiones atmosféricas de las centrales termoeléctricas (D.S 13, 2011). La norma, establece límites para las emisiones de material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y mercurio (Hg), incluyendo una distinción entre las exigencias que se aplican a plantas nuevas, respecto de las referidas a plantas existentes. Adicionalmente esta norma de emisión contempla parámetros de calidad muy laxos en comparación con las normas de emisión de otros países (Agencia Internacional de Energía, 2016), y por ende no protege adecuadamente la salud de la población (Chile Sustentable, 2018) (Figura 1).

Adicionalmente a ello, y a partir de la crisis de intoxicaciones masivas ocurridas en Puchuncavi Quintero, el gobierno publicó en 2018 una Nueva Norma primaria para dióxido de azufre -SO<sub>2</sub> (D.S 104/2018), la cual establece un límite horario equivalente a la normativa vigente en la Unión Europea, de 350 µg/m<sup>3</sup> con percentil 98,5.



**Figura 1. Límite de emisiones para las plantas termoeléctricas a carbón estudiadas, en comparación a los límites de emisiones de China y la Unión Europea.**

Fuente: Elaboración propia en base a D.S 13, 2011 y Agencia Internacional de Energía, 2016.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO 1: PUCHUNCAVÍ

La comuna de Puchuncaví tiene una historia de desarrollo económico local vinculada a actividades agrícolas y turísticas. No obstante, desde 1960, a partir de la instalación de la primera fundición de cobre de ENAMI en Ventanas, seguida por otras 15 industrias altamente contaminantes (Hervé et. al 2012), la comuna se transformó en uno de los polos de desarrollo industrial más importantes y grande de Chile. En esta área industrial, sus habitantes conviven desde hace más de 50 años con industrias altamente contaminantes; y han sufrido una serie de eventos de contaminación aguda, tales como derrame de ácido sulfúrico en las costas, permanentes varamientos de carbón en el puerto, incendios de combustibles, e intoxicaciones masivas en el año 2008, 2011 y en 2018 (Mujeres en Zona de Sacrificio, 2018).

Las emisiones de las industrias presentes en la zona generan concentraciones anuales de material particulado que superan la norma primaria de calidad del aire para MP 2,5, encontrándose saturada y la concentración diaria se encuentre en estado de latencia, al igual que la norma para MP10 como concentración anual (D.S 10, 2015). A pesar de esta situación, recién el año 2018 se publicó un Plan de Descontaminación Atmosférica para las comunas de Quintero-Puchuncaví- Con Cón (DS 105, 2018).

En la comuna de Puchuncaví (aledaña a comunas de Quintero y Concón) funcionan cuatro unidades de generación termoeléctrica a carbón, pertenecientes a la empresa norteamericana Aes Gener. Las unidades Ventanas 1 y Ventanas 2 no tienen Resolución de Calificación Ambiental, por tener una antigüedad de 40 años, época en que el país no contaba con esta exigencia; y porque nunca se les exigió posteriormente. Las unidades Nueva Ventanas y Campiche en operación desde 2010 y 2013 respectivamente, sí poseen Resolución de Calificación Ambiental vigente (Ver Cuadro 1).

**Tabla 1: Capacidad de generación y antigüedad de plantas termoeléctricas ubicadas en Puchuncaví**

Unidad	Empresa	Año Inauguración	Potencia Instalada (MW)
Ventanas 1	Aes Gener	1964	113,4
Ventanas 2	Aes Gener	1977	208,6
Nueva Ventanas	Aes Gener	2010	249
Campiche	Aes Gener	2013	249

Fuente: KAS Ingenieros, 2017.

La zona en estudio comprende a un área desde el Río Aconcagua hasta el sector del Cerro Colorado en el sector costero de la región de Valparaíso. Específicamente en esta zona, el clima está fuertemente condicionado por la geomorfología existente, donde la planicie litoral se interna en un cajón delimitado por el Cerro Colorado, por el norte hasta el Cerro Mauco por el sur, diferenciando esta área, respecto de las zonas que se encuentran al sur del Río Aconcagua.

El clima del área corresponde al tipo templado, cálido y lluvioso que, producto de su ubicación geográfica costera, presenta vientos predominantemente en dirección mar-valle durante el día, y viceversa durante la noche. Debido a su cercanía con el mar, el área en estudio presenta una alta humedad, alcanzado un valor promedio de 82%. Las precipitaciones en esta zona se concentran principalmente en los meses de Junio, Julio y Agosto, bordeando los 70 mm aproximadamente. La temperatura varía entre los 6 y 25°C, encontrándose predominantemente, temperaturas en torno a los 15°C. (CENMA, 2013).

### 3.2. DESCRIPCIÓN DE ZONA DE ESTUDIO 2: HUASCO

La comuna de Huasco se localiza en el sector costero de la región de Atacama, y tiene una extensión de 1.601,4 km<sup>2</sup>. En conjunto con las comunas de Freirina, Vallenar y Alto del Carmen conforman la Provincia de Huasco (MMA, 2017b).

Las principales fuentes emisoras de contaminación atmosférica en la comuna de Huasco, son 5 unidades termoeléctricas a carbón de la empresa Aes Gener y una planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico CMP, que produce pellets de minerales de hierro. Adicionalmente, la ciudad de Huasco tiene una importante actividad portuaria (MMA, 2017b).

Los altos niveles de contaminación atmosférica, tuvieron como consecuencia que la comuna fuera declarada zona latente por la concentración anual de material particulado MP10, en mayo de 2012, (D.S 40, 2012), y que desarrollara un Plan de Prevención Atmosférica (D.S 38, 2017), que entro en vigencia cinco años más tarde. Este Plan, establece una serie de medidas para reducir las fuentes de emisión del complejo Guacolda de 5 unidades termoeléctricas a carbón de AES-Gener y de la planta de pellet de CMP.

**Tabla 2: Capacidad de generación y antigüedad de termoeléctricas a carbón ubicadas en Huasco**

Unidad	Empresa	Año Inauguración	Potencia Instalada (MW)
Guacolda U1	Aes Gener	1995	142,9
Guacolda U2	Aes Gener	1996	142,9
Guacolda U3	Aes Gener	2009	131,1
Guacolda U4	Aes Gener	2010	139
Guacolda U5	Aes Gener	2015	139

Fuente: KAS Ingenieros, 2017.

La provincia de Huasco se encuentra ubicada entre cordones montañosos en torno al Río Huasco (Cuenca del Río Huasco). Su tipo bioclimático dominante es el mediterráneo desértico – oceánico, caracterizado por concentrar sus precipitaciones durante los meses de invierno, sin embargo, esta localidad presenta déficit hídrico durante más de la mitad del año. Las precipitaciones se concentran durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, rondando entre los 15 y 25 mm mensuales, con 40 mm al año.

La temperatura media varía entre 14 y 21°C, principalmente debido a la alta nubosidad que presenta la zona; por otro lado la humedad varía entre 59% y 92%. Respecto al viento, en el área se registran velocidades promedio de viento de 9,6 kilómetros por hora, siendo predominantemente de dirección este y oeste, debido a la geomorfología del sector. (DMC, 2017).

### 3.3. MÉTODO

#### 3.3.1. Estimación de las emisiones generadas

Según la disponibilidad de información pública, se tomó como referencia para la recopilación y modelación de datos el periodo correspondiente al año 2017. Específicamente se consideró el nivel de emisiones de las 4 termoeléctricas ubicadas en la comuna de Puchuncaví y las 5 termoeléctricas a carbón ubicadas en la comuna de Huasco. Los datos correspondientes a emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y Material Particulado fueron estimados a partir de los reportes anuales afectos al D.S 13/2011, validados por la Superintendencia de Medio Ambiente

(SNIFA, 2018). Adicionalmente, se utilizaron los datos de generación eléctrica entregados por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2018a).

A continuación se muestran las características estructurales de las termoeléctricas a carbón que fueron consideradas en la modelación así como sus niveles de operación durante el año 2017 (Tabla 3).

**Tabla 3: Características estructurales de las termoeléctricas de Puchuncaví y Huasco**

Unidad	Localización	Coordenadas UTM 19 S		Alto de Chimenea [m]	Diámetro [m]
Ventanas 1	Puchuncaví	267336.52 E	6373503.62 S	61	6
Ventanas 2	Puchuncaví	267336.52 E	6373503.62 S	62	5,6
Nueva Ventanas	Puchuncaví	267336.52 E	6373503.62 S	95	4,7
Campiche	Puchuncaví	267336.52 E	6373503.62 S	95	4,7
Guacolda U1	Huasco	279024.69 E	684928.32 S	89	6
Guacolda U2	Huasco	279024.69 E	684928.32 S	89	6
Guacolda U3	Huasco	279024.69 E	684928.32 S	89	3,7
Guacolda U4	Huasco	279024.69 E	684928.32 S	89	3,7
Guacolda U5	Huasco	279024.69 E	684928.32 S	89	6

Fuente: Ministerio de Energía, 2018

**Tabla 4: Nivel de operación para el año 2017**

Unidad	Potencia Nominal [MW]	Energía generada [MWh]	Utilización
Ventanas 1	120	614.839	58.49 %
Ventanas 2	218	1.059.302	55.47 %
Nueva Ventanas	267	1.927.212	82.40 %
Campiche	270	1.822.943	77.07 %
Guacolda U1	152	665.758	50,0 %
Guacolda U2	152	543.222	40,8 %
Guacolda U3	152	708.800	53,23 %
Guacolda U4	152	821.189	61,67%
Guacolda U5	152	838.958	63,01 %

Fuente: CNE, 2018a; Ministerio de Energía, 2018.

Por otro lado, en la siguiente tabla, se muestran los niveles de emisiones estimados por la autoridad para las 4 termoeléctricas de Puchuncaví y las 5 termoeléctricas a Huasco recién mencionadas durante el año 2017.

**Tabla 5: Niveles de emisión estimados para las termoeléctricas de Puchuncavi. y Huasco**

Unidad	Flujo de SO <sub>2</sub> [kg/h]	Flujo de NO <sub>x</sub> [kg/h]	Flujo de Material Particulado [kg/h]
Ventanas 1	75,12	136,0	22,74
Ventanas 2	125,9	180,32	16,97
Nueva Ventanas	232,34	224,36	12,42
Campiche	185,77	212,58	6,81
Guacolda U1	99,4	142,0	7,4
Guacolda U2	81,09	115,9	6,07
Guacolda U3	30,93	87,7	3,24
Guacolda U4	81,63	19,5	13,64
Guacolda U5	21,6	18,0	2,71

Fuente: SNIFA, 2018

La distribución del material particulado fue separada considerando partículas menores a 2.5 micrones, partículas entre 2.5 y 10 micrones y partículas mayores a 10 micrones, basado en la distribución promedio de salida de un precipitador electrostático tipo según U.S EPA AP 42 (1998): de ello se infiere que 30 % de las cenizas emitidas fueron asumidas como PM<sub>2.5</sub> y 37.5% como PM<sub>10</sub>. Las partículas mayores a 10 micrones fueron modeladas como con un diámetro promedio de 15 micrones.

### 3.3.2. Base teórica del modelo utilizado

La dispersión de contaminantes a nivel atmosférico fue modelada usando el modelo CALPUFF<sup>1</sup> que es capaz de modelar el transporte y dispersión de contaminantes tomando en consideración los efectos de los vientos, la dispersión atmosférica, las transformaciones químicas y la deposición superficial de contaminantes con sus variaciones a lo largo del tiempo y del espacio.

### 3.3.3. Datos meteorológicos

Para modelar cómo ocurre la dispersión de contaminantes, es necesario contar con una base de datos meteorológica que pueda simular las condiciones locales generadas por los vientos, precipitaciones y temperaturas entre otros. Esta base de datos fue generada a partir del sistema de modelación TAPM, desarrollado en Australia por la agencia internacional CSIRO, contrastado con datos observados. TAPM utiliza información climática global proveniente del modelo GASP (Australian Bureau of Meteorology), combinado con información de terreno de alta resolución. Finalmente, estos datos fueron convertidos en formatos aptos para ser procesados por CALPUFF.

<sup>1</sup> CALPUFF es un modelo tipo “puff” Lagrangiano Gaussiano no estacionario sobre un campo de vientos construido con CALMET ((modelo de diagnóstico meteorológico tridimensional). Los modelos tipo “puff” representan una pluma de contaminantes continuo como un número discreto de paquetes de material contaminante. El modelo evalúa la contribución de un “puff” en la concentración atmosférica de un receptor en un instante determinado, para luego permitir que el puff se mueva, evolucione en tamaño, fuerza, etc., hasta la próxima iteración. Luego, la concentración total en un receptor resultará de la sumatoria de las contribuciones de todos los “puff”. Finalmente CALPOST procesa las salidas de CALPUFF creando los archivos con las tabulaciones necesarias para la evaluación de los resultados según los estadísticos establecidos en las normas de calidad del aire.

### 3.3.4. Grilla de receptores

Utilizando como punto central las 4 termoeléctricas de Puchuncaví y las 5 termoeléctricas de Guacolda recién mencionadas, se desarrolló una grilla de cálculo de 50x50, con dimensiones de 15 km, 5 km y 2,5 km de resolución horizontal y 12 niveles verticales.

### 3.3.5. Transformaciones Químicas

La transformación química de las sustancias nitrogenadas y sulfuradas que ocurre en la atmósfera se modeló usando el módulo de CALPUFF ISORROPIA II chemistry. Los niveles de ozono en el ambiente fueron procesados a partir de mediciones reportadas por las autoridades Chilenas (CEN, 2018 ; SNIFA, 2018; CNE, 2018). Los niveles basales de amonio se obtuvieron del estudio realizado por Toro et al, 2014. El nivel ambiental de H2O2 se estimó utilizando el valor por defecto de la U.S EPA de 1 ppb (Exponent 2011).

### 3.3.6. Periodo de modelación

La modelación de dispersión de contaminantes se realizó utilizando la información meteorológica correspondiente al periodo que comprende entre el 1 de enero del 2017 hasta el 31 de diciembre de 2017.

### 3.3.7. Estaciones de medición consultadas

Con la finalidad de contrastar los resultados de la modelación con datos medidos experimentalmente, se recurrió a las bases entregadas por el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (MMA, 2019). Se analizaron las concentraciones horarias reportadas para SO2, NO2, PM2.5, y PM10 para el año en cuestión. Los datos corresponden a la medida de concentración registrada con una frecuencia de 1 h.

A continuación, se resume en las siguientes tablas, las principales características de las estaciones de medición consultadas.

**Tabla 6: Ficha técnica de la estación meteorológica "Ventanas"**

<b>Estación Ventanas</b>	
Propietario	CODELCO División Ventanas y AES Gener
Operador	SGS Chile Ltda.
Comuna	Puchuncaví
Coordenadas UTM 19 S	267547 E 6474609 N
Inicio de operación	01 – 01 – 2013
Parámetros medidos	SO2 , NO, NO2, O3, NOx, PM2.5, PM10

**Tabla 7: Ficha técnica de la estación meteorológica "Centro Quintero"**

<b>Estación Centro Quintero</b>	
Propietario	GNL Quintero
Operador	SGS Chile Ltda.
Comuna	Quintero
Coordenadas UTM 19 S	262853 E 6369407 N
Inicio de operación	01 – 03 – 2008
Parámetros medidos	SO2, CO, NO2, NO, NOx, O3, PM10, CH4, HCT

Tabla 8: Ficha técnica de la estación meteorológica "La Greda"

<b>Estación La Greda</b>	
Propietario	CODELCO División Ventanas y AES Gener
Operador	SGS Chile Ltda.
Comuna	Puchuncaví
Coordenadas UTM 19 S	268185 E 6373910 N
Inicio de operación	01 – 07 – 1992
Parámetros medidos	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>

Tabla 9: Ficha técnica de la estación meteorológica "Husco II"

<b>Estación Husco II</b>	
Propietario	Compañía minera del pacifico
Operador	Serpram S.A
Comuna	Husco
Coordenadas UTM 19 S	281581 E 6849067 N
Inicio de operación	01 – 08 – 2013
Parámetros medidos	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub>

Tabla 10: Ficha técnica de la estación meteorológica "EME F"

<b>Estación EME F</b>	
Propietario	GUACOLDA ENERGIA S.A
Operador	CESMEC S.A
Comuna	Husco
Coordenadas UTM 19 S	282486 E 6849125 N
Inicio de operación	06 – 09 – 2000
Parámetros medidos	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, O <sub>3</sub>

Tabla 11: Ficha técnica de la estación meteorológica "EME M"

<b>Estación EME M</b>	
Propietario	GUACOLDA ENERGIA S.A
Operador	CESMEC S.A
Comuna	Husco
Coordenadas UTM 19 S	282763 E 6848691 N
Inicio de operación	06 – 09 – 2000
Parámetros medidos	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, O <sub>3</sub>

Fuente: MMA, 2019

El tratamiento de datos consistió en considerar como referentes los indicadores informados por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2005) en su informe "Air Quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfure dioxide, Global update 2005". Estos indicadores informan en base a diversas informaciones científicas, sobre el límite de concentración de contaminantes, para cada sustancia, en donde el nivel pasa a ser

dañino para la salud de la población, de acuerdo con evidencia empírica de población urbana expuesta a dichos contaminantes.

A continuación, se muestran los límites informados por la Organización Mundial de la Salud para los distintos tipos de contaminantes.

**Tabla 12: Límites peligrosos de niveles de concentración de contaminantes**

<b>Contaminante</b>	<b>Límite de exposición a corto plazo</b>	<b>Límite de exposición a largo plazo</b>
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup> Media 24 h	20 µg/m <sup>3</sup> Media anual
PM <sub>2.5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup> Media 24 h	10 µg/m <sup>3</sup> Media anual
NO <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup> Media 1 h	40 µg/m <sup>3</sup> Media anual
SO <sub>2</sub>	500 µg/m <sup>3</sup> Media 10 min	20 µg/m <sup>3</sup> Media 24 h

Fuente: WHO, 2005

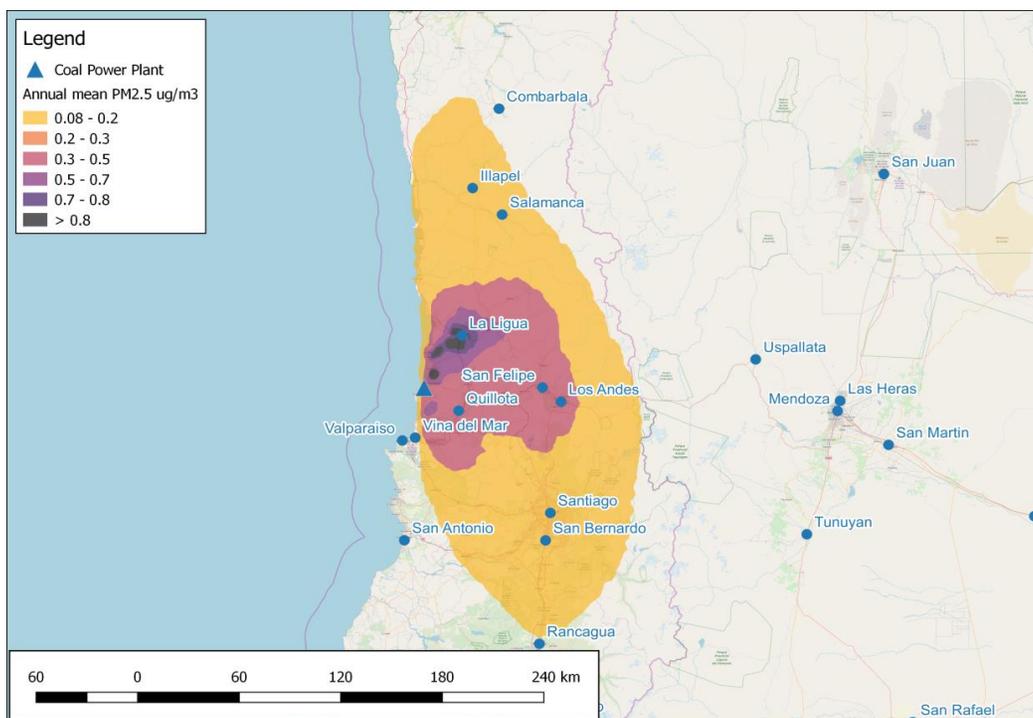
Los indicadores recién descritos sobre límites máximos informados por la Organización Mundial de la Salud, se comparan con la información entregada por las estaciones de medición de contaminantes localizadas en la zona, y con los datos obtenidos como resultado de la modelación. En este ejercicio se obtiene el nivel de impacto generado por las emisiones contaminantes antes mencionadas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ZONA DE ESTUDIO 1: PUCHUNCAVI

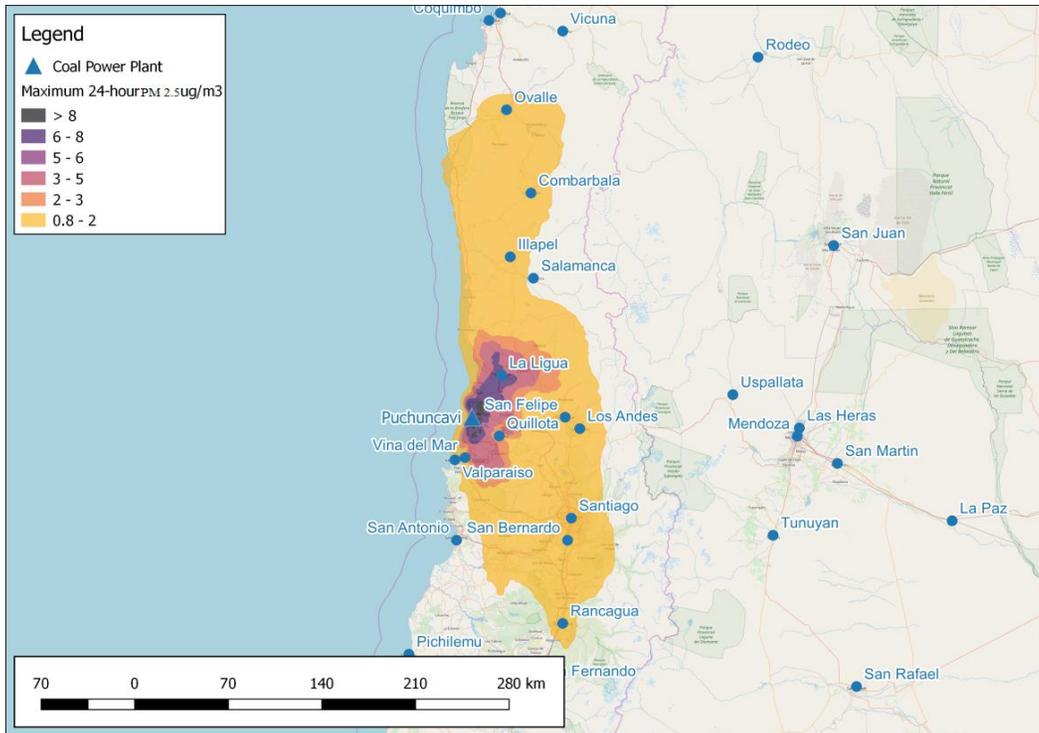
Los resultados de la modelación realizada para la Comuna de Puchuncaví arrojan que las emisiones generadas por las plantas termoeléctricas a carbón consideradas tienen un radio de afectación significativo de entre 10 y 20 km alrededor de las centrales. En específico, los niveles de dióxido de azufre predichos para un promedio de 24 h exceden por más del doble, las concentraciones de peligrosidad informadas por la Organización Mundial de la Salud. Lo anterior, sin considerar otras fuentes de emisión existentes en el parque industrial.

Estas concentraciones conllevan riesgos significativos en la aparición de síntomas respiratorios agudos, especialmente para la población más vulnerable como lo son los niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias.



**Figura 2: Promedio Anual de concentraciones para material particulado PM 2.5 en la Comuna de Puchuncaví.**

Fuente: Elaboración propia, 2019



**Figura 3: Promedio Máximo 24 h para material particulado PM 2.5 Comuna de Puchuncaví.**

Fuente: Elaboración propia, 2019

En las Figuras 2 y 3, se muestra la contribución de material particulado 2.5 de las cuatro plantas modeladas para Puchuncaví, mostrando el promedio anual (Figura 2) y el promedio máximo en 24 h (figura 3). Se puede apreciar que las cuatro termoeléctricas modeladas en la comuna aportan cerca de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a la media anual de material particulado localmente, y en una proporción menor, afectan hasta más de 100 km al norte y sur del área modelada.

Respecto al promedio máximo en 24 h (figura 3), se puede observar que el impacto a corto plazo aportado por las cuatro termoeléctricas estudiadas es significativo, en periodos en donde las condiciones climáticas son desfavorables, producto del poco dinamismo de los flujos dispersivos. Para estos periodos, se observan concentraciones de material particulado sobre  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , representando más de un tercio del límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud. Esto, sin considerar las otras fuentes de emisión existentes en el parque industrial; lo cual deja en evidencia, las altas concentraciones a las que se encuentra expuesta la población de la comuna, afectando incluso, otras comunas y regiones, como la Región Metropolitana, la cual ya está decretada como zona saturada en cuanto a material particulado.

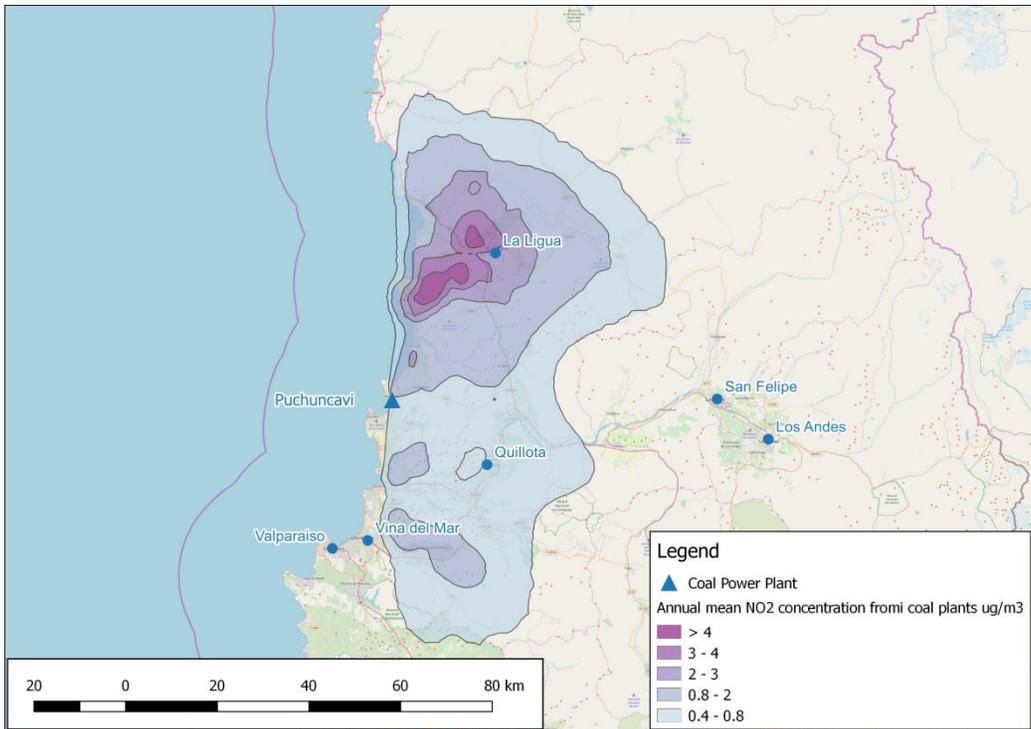


Figura 4: Promedio Anual de concentraciones de dióxido de nitrógeno en la Comuna de Puchuncaví.

Fuente: Elaboración propia, 2019

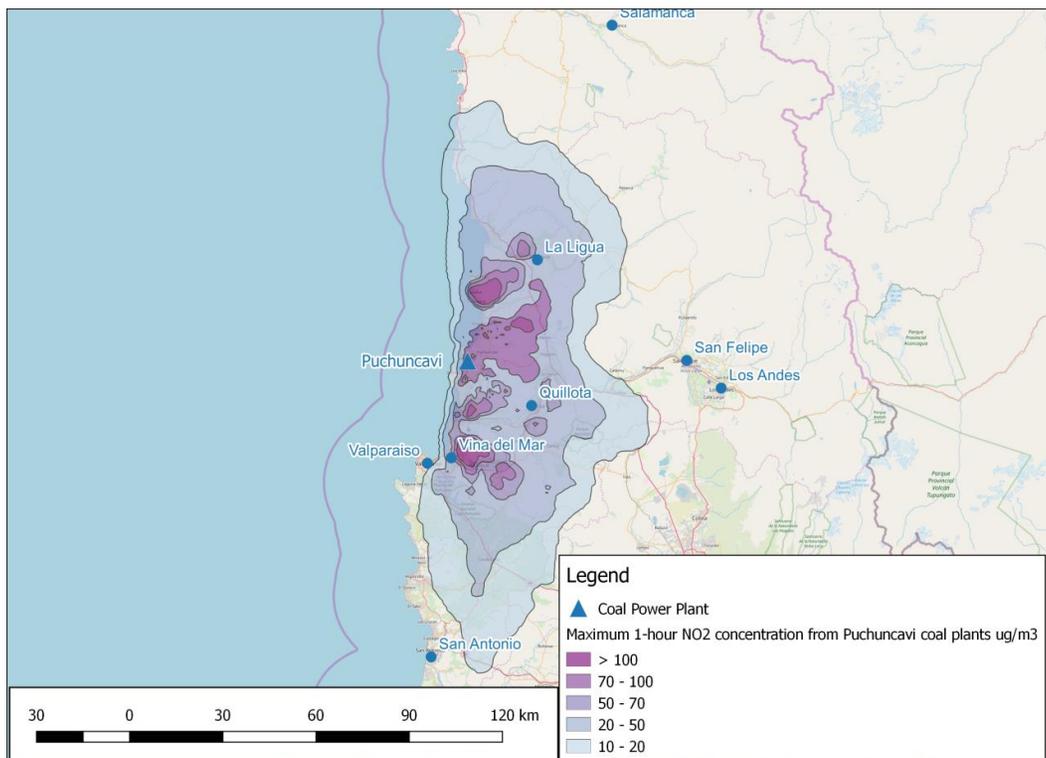


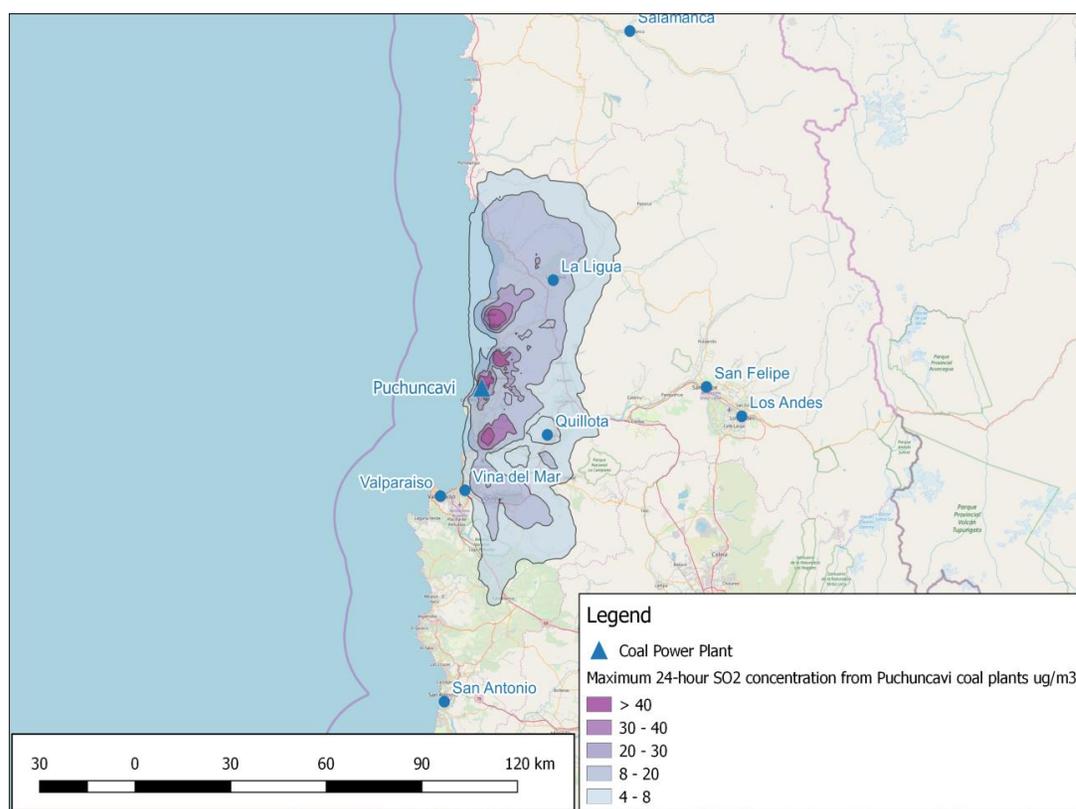
Figura 5: Concentraciones máximas horarias de dióxido de nitrógeno en la Comuna de Puchuncaví.

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la Figura 4 se muestra el promedio anual de las emisiones de dióxido de nitrógeno generadas por las cuatro termoeléctricas a carbón de la comuna y en la Figura 5, se presentan los máximos horarios. Respecto al promedio anual, se aprecia una concentración local de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por parte de las termoeléctricas modeladas, lo que representa un 10% el límite recomendado por Organización Mundial de la Salud (ver Tabla 12). A distancias más lejanas, la dispersión de este contaminante es significativa, abarcando distancias de más de 60 km de dispersión hacia el este y oeste del punto de emisión, afectando a mayor cantidad de comunas.

Existe una notable diferencia en el patrón de comportamiento del **dióxido de nitrógeno** con respecto al **material particulado**, lo cual se debe principalmente al corto periodo de residencia atmosférica del dióxido de nitrógeno debido a su transformación química hacia formas nitrogenadas secundarias.

Respecto a las concentraciones máximas horarias modeladas de dióxido de nitrógeno, se puede observar que en términos de corto plazo, el impacto es significativo. El modelo predice que las 4 plantas consideradas podrían ser capaces de añadir más de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de dióxido de nitrógeno en los días con peores condiciones de dispersión de contaminantes. En las áreas más cercanas, la concentración de emisiones representa un 50% del límite máximo informado por Organización Mundial de la Salud ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Este nivel de concentración es preocupante y deja un reducido espacio si se consideran las otras fuentes de dióxido de nitrógeno presentes en este parque industrial.



**Figura 6: Concentraciones máximas diarias de dióxido de azufre en la Comuna de Puchuncaví.**

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la Figura 6, se muestran los resultados de la modelación para las emisiones de dióxido de azufre, informados como concentraciones máximas diarias. Los resultados muestran una contribución por parte de las cuatro termoeléctricas modeladas que exceden los  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  localmente, valor que se encuentra por sobre el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para este contaminante ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Esto quiere decir, que en los días con condiciones climáticas con baja capacidad de dispersión de contaminantes, la contribución de las 4 termoeléctricas copa totalmente el nivel de seguridad informado por la OMS.

### Modelación de concentraciones en referencia a la Nueva Norma primaria para SO<sub>2</sub>

Finalmente, respecto de las emisiones contaminantes de Puchuncavi, se realizó un último análisis referido a la Nueva Norma primaria para SO<sub>2</sub> (D.S 104/2018), la cual establece un límite horario equivalente a la normativa vigente en la Unión Europea, de 350 µg/m<sup>3</sup> con percentil 98,5.

Para lo anterior, se modeló la dispersión de contaminantes, teniendo como resultado que las termoeléctricas modeladas generan un área de afectación que se extiende a más de 15 kilómetros desde la fuente de origen, y generando un máximo de 126,12 µg/m<sup>3</sup> promedio horario, valor que representa más de un 36% del límite establecido por la norma. Esto evidencia que la contribución de las 4 termoeléctricas modeladas es significativa, tomando en cuenta que el análisis no considera otras fuentes de contaminantes presentes en el parque industrial.

#### 4.1.1. Análisis de datos experimentales

Las 3 estaciones de medición de calidad del aire de donde se obtuvieron los datos de concentración de emisiones, poseen un periodo de generación de datos de una hora. Los datos fueron procesados de manera tal de obtener indicadores lo más representativos posibles para ser comparados con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud, los que se presentan en la Tabla 12.

En las tablas a continuación, se presentan los resultados del procesamiento de los datos para el año 2017 a lo largo de los 12 meses de ese año cuando. Se destacan en rojo, los valores que superan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

**Tabla 13: Datos mensuales de concentraciones de contaminantes medidas en estación Loncura**

	Indicador	Año 2017 concentraciones en µg/m <sup>3</sup>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estación Loncura	PM 10 media 24 h	68,1	52,8	128,2	56,2	31,1	28,6	35,9	25,2	38,1	31,1	29,9	40,0
	PM 10 Media Anual	47,11											
	PM 2.5 media 24 h	19,8	14,1	12,68	20,7	17,7	15,8	23	13,7	15,1	11,2	12,5	13,4
	PM 2.5 media anual	15,79											
	SO2 media 24 h	8,39	12,2	12,82	16,2	14,5	17,8	27,3	17,4	21,7	14,9	15,1	16
	SO2 media 1 h*	561	460	515,9	500	425	747	604	833	602	836	687	801
	NO2 media 1h **	140	199	115,8	281	144	201	500	274	162	147	238	121
	NO2 media anual	9,911											

**Tabla 14: Datos mensuales de concentraciones de contaminantes medidas en estación Ventanas**

	Indicador	Año 2017 concentraciones en µg/m <sup>3</sup>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estación Ventanas	PM 10 media 24 h	72,9	60,9	42,5	52,1	34	29,3	39,5	29,9	37,4	36,6	38,6	41,1
	PM 10 Media Anual	42,81											
	PM 2.5 media 24 h	18	13,6	11,44	13,6	15,1	13,8	20,6	13,8	13,1	10,5	10,8	10,9
	PM 2.5 media anual	13,78											

	SO2 media 24 h	13,4	16,2	13,25	14,7	14,6	18,4	20,1	14,6	16,2	16,4	12,8	10,6
	SO2 media 1 h**	165	456	146	279	227	222	284	247	215	247	307	140
	NO2 media 1h	46,9	31,9	27,01	22,8	28,1	32,4	34,2	34,5	22,8	21,9	22,1	23,4
	NO2 media anual	8,21											

**Tabla 15: Datos mensuales de concentraciones de contaminantes medidas en estación La Greda**

	Indicador	Año 2017 concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Estación La Greda	PM 10 media 24 h	57	42,2	43,4	41,3	38,3	37,2	42,9	32,1	45,2	30,4	31,7	29,5
	PM 10 Media Anual	39,22											
	PM 2.5 media 24 h	17,3	10,9	6,623	8,7	15,9	16,6	21,6	12,5	12,5	10,4	10,1	10,4
	PM 2.5 media anual	12,81											
	SO2 media 24 h	12,9	18,9	16,8	18,8	14,8	17,7	15,8	14,6	16,9	17,3	17,7	17,2
	SO2 media 1 h**	176	602	170,8	374	256	480	279	174	272	374	317	444
	NO2 media 1h	25,8	27,9	27,99	27,7	33	28,8	30,6	29,1	22,2	26,9	22,7	28,4
	NO2 media anual	9											

\*\* Dado que los datos entregados tienen un tiempo de muestreo de 1h, la media 1h corresponderá al valor máximo registrado durante el mes en cuestión.

A partir de los resultados expuestos en las tablas anteriores, se puede observar que el contaminante que genera mayor riesgo a la salud de la población corresponde al material particulado, en específico el material particulado  $\text{PM}_{10}$ . Esta sustancia excede los límites recomendados por la OMS reiteradas veces durante el año 2017, excediendo en más de un 156% los niveles recomendados.

Por otro lado, los niveles de dióxido de azufre presentes en el aire, sobrepasan reiteradamente los valores recomendados, siendo la estación Loncura, la locación que detectó mayor concentración, mostrando valores máximos horarios que exceden en 66% los valores recomendados. La diferencia de concentraciones en esta estación, muestra la importancia de la componente velocidad del viento, la cual puede generar diferencias de concentración a nivel local bastante significativas.

#### 4.2. ZONA DE ESTUDIO 2: HUASCO

La modelación realizada en base a las emisiones generadas por las 5 termoeléctricas que operan en la Comuna de Huasco, arroja que, para todos los contaminantes en estudio, se presenta un radio de afectación de más de 100 km, con concentraciones significativamente altas en el radio de 15 km de distancia. En específico, los niveles de dióxido de azufre resultantes en el área exceden los límites de peligrosidad informada por OMS. Estos cálculos realizados, no consideran otras fuentes de emisión cercanas al complejo termoeléctrico.

Cabe mencionar que estas concentraciones tienen directa relación con el aumento de riesgos respiratorios para la población más vulnerable de la comuna, como lo son niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias.

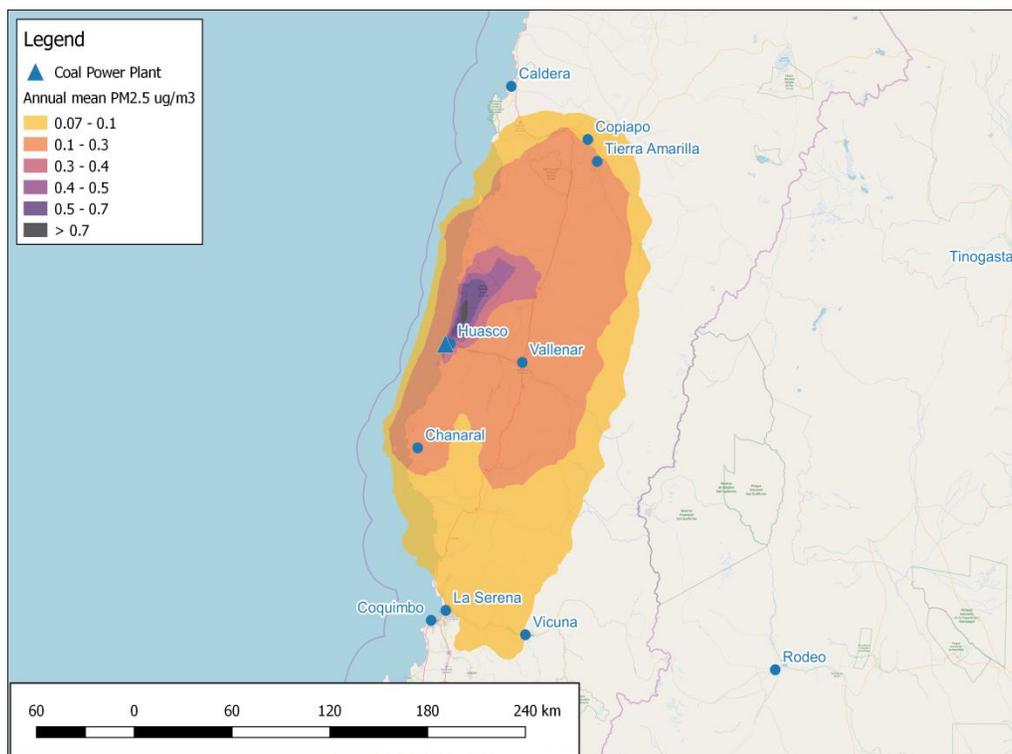
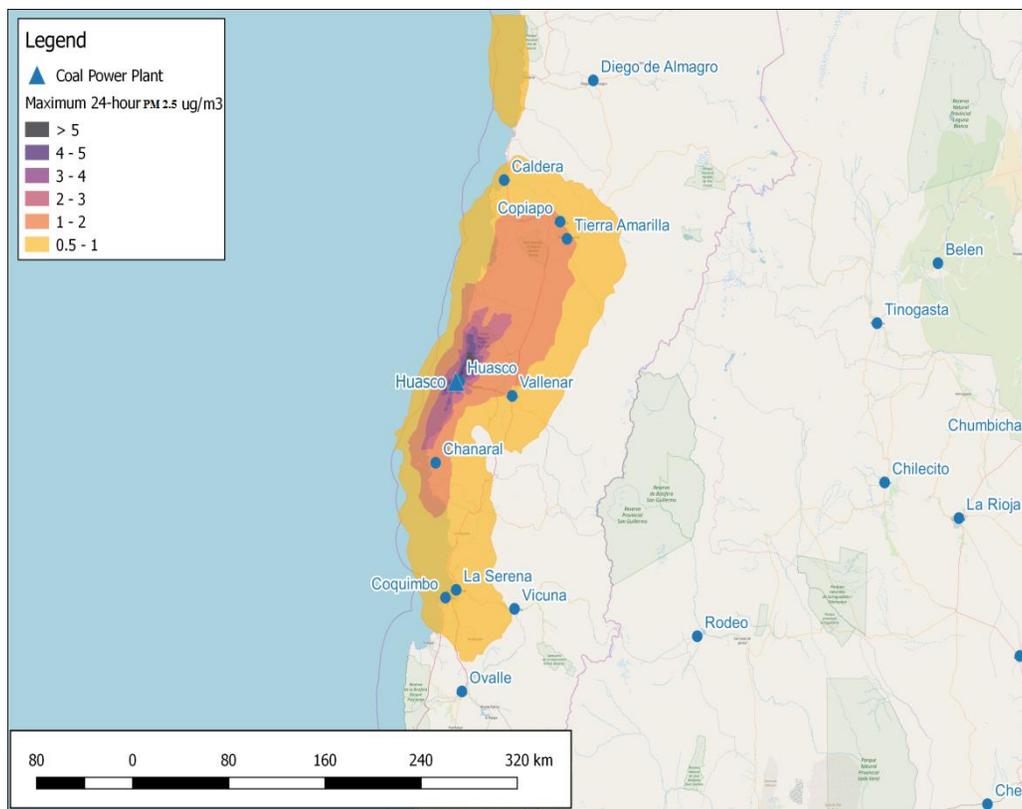


Figura 7: Promedio de concentraciones anual para material particulado 2.5 en la Comuna de Huasco.



**Figura 8: Máximos diarios para concentraciones de material particulado 2.5 para la comuna de Huasco.**

En la **Figura 7** se presenta la pluma modelada para concentraciones anuales de material particulado PM 2.5, donde se puede observar una contribución de  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el área más cercana a las termoeléctricas modeladas, lo cual sobrepasa en un 6% el límite de peligrosidad informado por OMS.

El mayor impacto en la calidad del aire, durante todos los meses en el área, ocurre al noreste de las plantas en la comuna de Huasco. El impacto está muy influenciado por la topografía y vientos dominantes que inciden en la dispersión de contaminantes. El área costera al sur de las plantas se ve más afectada en los meses de invierno, de mayo a septiembre, cuando los vientos del norte son más recurrentes. En general, el impacto de las emisiones de PM2.5 en la calidad del aire es mayor durante el invierno, debido a la disminución de la velocidad del viento y a las condiciones atmosféricas más propicias para la formación de partículas secundarias, incluida una mayor humedad.

En la **Figura 8** se muestran las concentraciones máximas diarias para material particulado en la comuna de Huasco, en donde se aprecian niveles mayores a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las cercanías de las termoeléctricas modeladas, lo cual representa un 20% el límite máximo recomendado por la OMS. Este nivel es significativo, pues no se están incluyendo las emisiones de otras fuentes de material particulado del área. La diferencia entre la concentración anual y diaria esta relacionada con los episodios climáticos que no favorecen la dispersión de contaminantes. Esto deja en evidencia, que, durante ciertos días, la calidad del aire puede alcanzar características de peligrosidad para la población, incluso a distancias mayores a 100 km desde la fuente de emisión.

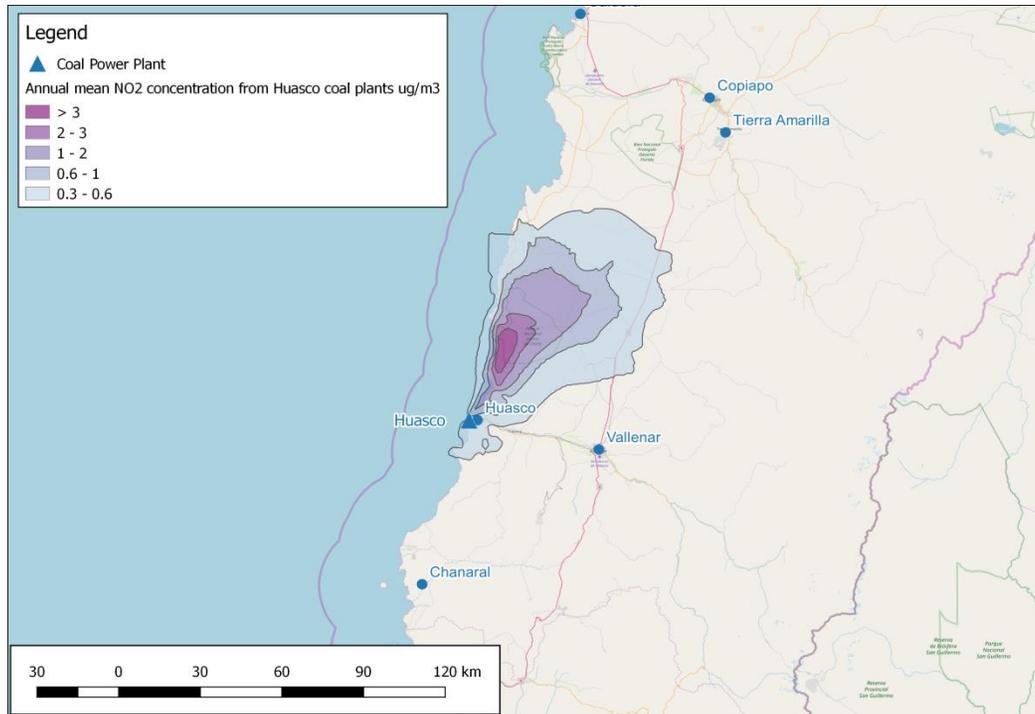


Figura 9: Promedio anual para la concentración de dióxido de nitrógeno para la comuna de Huasco.

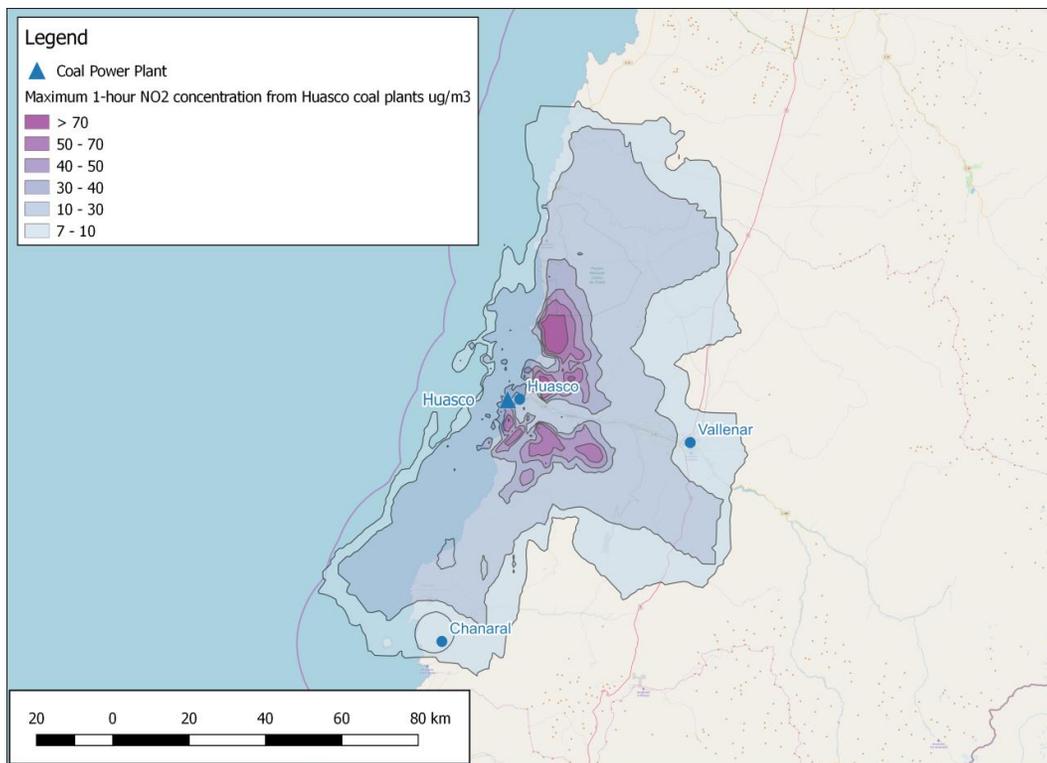
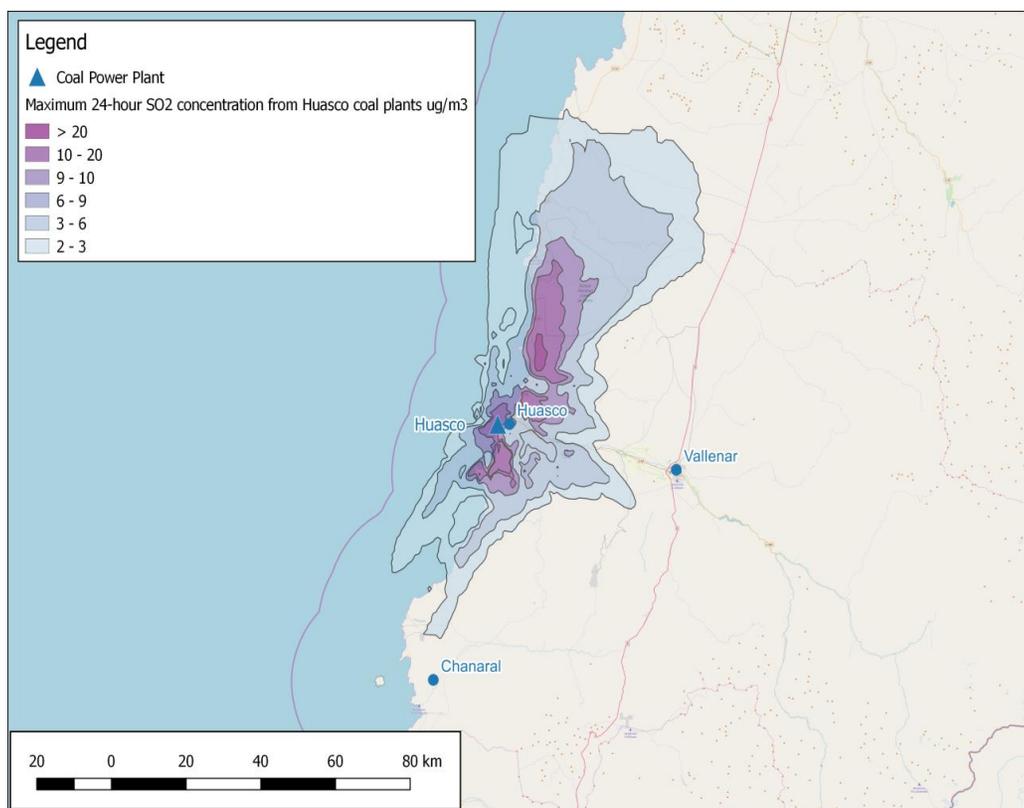


Figura 10: Máximos horarios para concentración de dióxido de nitrógeno para la Comuna de Huasco.

En la **Figura 10**, se muestran los resultados de la modelación de dispersión del contaminante dióxido de nitrógeno, expresado como media anual. En las cercanías de las termoeléctricas consideradas, se puede observar una contribución de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual representa una contribución de solo las termoeléctricas con un 7,5 % de

los límites informados por OMS. Las concentraciones más bajas, en comparación con otros contaminantes, se deben principalmente a que el dióxido de nitrógeno tiene un reducido tiempo de presencia en la atmósfera, pues se transforma en contaminantes secundarios debido a transformaciones químicas.

Esto se puede evidenciar en los niveles máximos diarios presentados en la Figura 9 los cuales muestran  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las cercanías de las termoeléctricas modeladas, valor que representa un 30% del valor límite informado por la OMS. Esta concentración es significativa, ya que no se están considerando otras fuentes de emisión presentes en la comuna de Huasco. Cabe señalar que este tipo de máximos se debe principalmente a días en donde las condiciones atmosféricas dificultan la dispersión de contaminantes.



**Figura 11: Máximos horarios para emisiones de dióxido de azufre en la Comuna de Huasco.**

En la **Figura 11**, se muestran los resultados de modelación para los máximos diarios de concentración de dióxido de azufre. Se puede observar que en las cercanías de las plantas modeladas existe una contribución de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  valor equivalente al límite recomendado por la OMS, dejando en evidencia, que durante los días en que las condiciones atmosféricas de dispersión son limitadas, el aporte de estas plantas representa un peligro para la población. Es necesario constatar que la modelación no consideró otras fuentes de emisión de dióxido de azufre presentes en el área de estudio.

#### **4.2.1. MODELACION DE EMISIONES EN BASE A LA NUEVA NORMA PRIMARIA PARA $\text{SO}_2$**

Finalmente, en este estudio se realizó un último análisis en relación a la Nueva Norma primaria para  $\text{SO}_2$  (D.S 104/2018), la cual establece un límite horario equivalente a la normativa vigente en la Unión Europea, de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con percentil 98,5.

Con la finalidad de comparar la modelación realizada con el indicador de la nueva norma de  $\text{SO}_2$ , se realizó una nueva modelación, esta vez configurada para entregar el promedio horario con un percentil 98,5 para el dióxido de azufre. Los resultados de dicha dispersión de contaminantes arrojan la existencia de un área de



Estación HUASCO II	Indicador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	SO2 media 24 h	5	4,8	4,4	4,1	4,5	8,19	5	6,35	6,8	5
	SO2 media 1 h**	636	379	476	392	416	626	603	35,6	27	19
	NO2 media 1h	175	132	134	264	173	127	266	20,3	17	12
	NO2 media anual	4,151									

\*\* Dado que los datos entregados tienen un tiempo de muestreo de 1h, la media 1h corresponderá al valor máximo registrado durante el mes en cuestión.

En el análisis de las 3 estaciones, se puede observar que las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) han llegado en reiteradas ocasiones a niveles nocivos para la salud de las personas, llegando a peaks de concentración horaria del orden de los 800 µg/m<sup>3</sup>, un 60 % más del límite recomendado por la OMS. Por otro lado, no se observa una correlación entre la calidad del aire y la estacionalidad anual, observándose altas concentraciones en todas las estaciones del año.

Si bien, la concentración de dióxido de nitrógeno se encuentra en niveles aceptables la mayor parte del año, se pueden observar peaks de corto plazo que aumentan los riesgos para la salud de la población.

### 4.3. OTROS ANÁLISIS Y DESAFÍOS DE ESTUDIOS FUTUROS

Las emisiones contaminantes provenientes de la combustión de carbón en plantas termoeléctricas, además de los impactos sobre la salud humana, generan lluvia ácida que se ha comprobado afecta severamente a los bosques y a otros ecosistemas. La agricultura puede ver afectado el rendimiento de sus cultivos o enfrentar un aumento en el costo de los insumos, ya que tienen que neutralizar los efectos de la lluvia ácida. Esta lluvia ácida también daña propiedades y edificios de importancia cultural. Adicionalmente las cenizas generadas en la combustión del carbón contienen metales pesados tóxicos que están asociados con una serie de riesgos para la salud.

Recientemente, la Universidad Católica de Valparaíso reveló una alta concentración de arsénico en las hortalizas cultivadas en las localidades de La Greda, Campiche y Los Maitenes, en la comuna de Puchuncaví (CHV, 2019). Lo anterior resulta coherente con la presencia de industrias en la zona, ya que las emisiones contaminantes de las centrales termoeléctricas de carbón conducen a la depositación de metales pesados tóxicos, cenizas volantes, lluvia ácida y mercurio, en la tierra y en el agua.

Si bien la absorción real de los metales y la biomagnificación dependen en gran medida de la química, la hidrología y la biología locales; la depositación de los contaminantes ocurre principalmente durante las lluvias. Tanto en Huasco como en Puchuncaví, la mayor parte de la depositación de tóxicos en el medio ambiente se producen durante las lluvias del invierno.

En consecuencia, es altamente preocupante y deberían generarse estudios futuros para responder a la necesidad de implementar planes de remediación de suelos y/o aguas para mejorar la seguridad alimentaria de la población de las zonas contaminadas.

## 5. CONCLUSIONES

En base a los resultados presentados de este estudio, se evidencia que las emisiones procedentes de las termoeléctricas a carbón modeladas, tanto en la Comuna de Puchuncaví como en Huasco, afectan negativa y significativamente la calidad del aire. Los datos modelados revelan que las concentraciones máximas de contaminantes aportados por las termoeléctricas contribuyen entre un 18 y 30% de los valores límites establecidos por OMS, para la comuna de Huasco y entre el 32 y 50% para la comuna de Puchuncaví. Ello evidencia claramente que el aporte de las emisiones contaminantes, provenientes de termoeléctricas a carbón afectan significativamente la calidad del aire en ambas comunas.; y por tanto la importancia de acelerar políticas de descarbonización que permitan mejorar la calidad de vida y la salud de las poblaciones que habitan estos lugares.

Las modelaciones realizadas, se pueden contrastar con los datos medidos en las distintas estaciones de medición de calidad de aire, las cuales muestran que efectivamente, los límites de peligrosidad establecidos por la organización Mundial de la Salud (OMS) son periódicamente excedidos, generando condiciones adversas en la calidad del aire y poniendo en peligro la salud respiratoria de la población en las comunas estudiadas.

Las emisiones de las 4 termoeléctricas a carbón localizadas en Puchuncaví, elevan los niveles de material particulado (MP) y NO<sub>2</sub> en el aire sobre una gran área que abarca 100 km. de norte a sur y 150 km. de este a oeste desde Puchuncaví-Quintero, llegando a varias otras ciudades, entre ellas Maitencillo, Zapallar y La Ligua. Las emisiones de las 5 centrales eléctricas a carbón localizadas en Huasco se dispersan de manera similar afectando a ciudades, pueblos y áreas protegidas, incluyendo Carrizal, Freirina y el Parque Nacional Llanos de Challe.

Esta contaminación generada por estas emisiones aumenta el riesgo de diversas enfermedades como el cáncer de pulmón, derrame cerebral, enfermedades cardíacas y respiratorias en los adultos, así como infecciones respiratorias en los niños. Esto conduce a generar muertes prematuras por estas causas. Las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y polvo contribuyen a esta exposición a partículas tóxicas. Adicionalmente, las emisiones contaminantes de las centrales de carbón provocan lluvia ácida, la cual puede afectar los cultivos y los suelos, así como también provocar precipitaciones de metales pesados tóxicos como arsénico, níquel, cromo, plomo y mercurio.

Estos impactos se ven agravados principalmente por las débiles regulaciones sobre límite de emisiones contaminantes en Chile para las industrias contaminantes, los que superan con creces los estándares de emisión de regiones como la UE y China. Además de los débiles mecanismos e instituciones de medición, fiscalización y control.

Los resultados de la modelación aplicada en el estudio, predicen que puede producirse una superación de las normas de calidad del aire para mercurio en Valparaíso, Petorca y Huasco y una superación para el SO<sub>2</sub> en Valparaíso, Petorca, Quillota y Huasco. Hecho que ha sido corroborado con los datos de calidad del aire de las estaciones de monitoreo respectivas.

Considerando los efectos de la contaminación en Puchuncaví-Quintero y Huasco, resulta importante generar en forma urgente estudios epidemiológicos y políticas públicas que consideren el impacto del uso del carbón sobre la salud de la población; con el objetivo de acelerar el reemplazo del carbón en la matriz eléctrica, por energías limpias y seguras, que contribuyan a mejorar la salud respiratoria y cardiovascular de las poblaciones locales.

Esta urgencia, ha sido destacada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde hace más de una década (2005) La OMS y otras agencias internacionales han declarado reiteradamente que la exposición a contaminantes provenientes de la combustión del carbón es dañina para la salud infantil y genera graves impactos en los sistemas respiratorio y cardiovascular, además de favorecer el aumento en la incidencia de cánceres en personas adultas. Por esta razón, las instituciones internacionales han llamado a establecer estrictos límites a la emisión de las termoeléctricas a carbón, y han recomendado el cierre definitivo de dichas centrales o su reconversión en lugares próximos a asentamientos humanos.

En este contexto, reconociendo el paso inicial dado por el gobierno de Chile para descarbonizar la matriz eléctrica, al anunciar un cronograma de descarbonización parcial el pasado 4 de junio, evaluamos este anuncio

como poco ambicioso e insuficiente, por sólo contempla el retiro de 8 unidades generadoras en base a carbon durante los próximos 5 años; y ninguna de ellas corresponde a las localizadas en la ciudad de Huasco. Además, estableció un plazo voluntario para el cierre de las 20 centrales restantes, excesivamente largo, al 2040, lo cual lo cual implica que los impactos sobre la salud de la población se perpetuaran por 20 años más.

Este debil cronograma fue mejorado el pasado mes de diciembre, en el contexto de la COP 25, donde el gobierno anuncio el adelanto en la fecha de cierre de las centrales consideradas en el primer anuncio de descarbonización, e incluyo el cierre de dos termoeléctricas adicionales, lo cual implica que al 2024, se habran cerrado 10 unidades de generación a carbón, de las 28 que operaban conectadas al Sistema Eléctrico Nacional, a inicios de 2019

El proceso de descarbonización del sector eléctrico en Chile requiere establecer un cronograma de cierre para las 18 centrales no consideradas en el programa de retiro al 2024, y procurar que el cierre o reconversión de estas unidades sea cercano al año 2030, fecha establecida para los países miembros de la OECD.

Adicionalmente, el estado de Chile debe invertir urgentemente en la ejecución de estudios independientes, de calidad científica, en aquellas comunas que albergan termoeléctricas a carbón y que ya disponen de instrumentos de gestión para la calidad del aire, tales como planes de descontaminación. Estos estudios, deben poner especial atención en el monitoreo de la calidad de aire y en los indicadores específicos de salud en las poblaciones expuestas, a objeto de poder asegurar que las acciones de control ambiental, de prevención y control de las enfermedades, sean efectivas.

## 6. REFERENCIAS

- Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en ingles). 2016. Energy and Air Pollution: World Energy Outlook. 266p. Disponible en: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
- Anenberg S.C. et al, 2010. An estimate of the gobal burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Environ Health Perspect.* 118:1189–1195. doi: 10.1289/ehp.0901220
- CEN (Coordinador Eléctrico Nacional), 2018. Restricciones Ambientales de centrales termoeléctricas. <https://www.coordinador.cl/informe-documento/determinacion-de-parametros-operacionales-de-unidades-generadoras/restricciones-operativas/>
- CNE (Comisión Nacional de Energía), 2018. Anuario Estadístico de Energía. 162p.
- CNE (Comisión Nacional de Energía), 2018a. Energía Abierta: factores-de-emision-anual-por-unidad-de-generacion. <http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/248821/factores-de-emision-anual-por-unidad-de-generacion/>
- CNE (Comisión Nacional de Energía), 2018b. Consumo de combustibles de centrales del sistema eléctrico nacional para el año 2017.
- Chile Sustentable. 2017. Matriz Eléctrica y generación a carbón en Chile: Propuestas para acelerar la transición energética. 16p.
- Chile Sustentable. 2018. Impactos de las termoeléctricas a carbon en la salud de la población local. 16p. <http://cne.cl/wp-content/uploads/2015/05/consumo-de-combustible-SEN.xlsx>
- Cortés S., Yohannessen K., Tellerés L. & Ahumada E. 2019. Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbon y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional? *Revista Chilena de Pediatría.* Vol 90(1): 102-114.
- CENMA. (Centro Nacional del Medio Ambiente). 2013. Evaluacion de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, comunas de Concon, Quintero y Puchucaví. 11p
- Decreto 10. Declara Zona Saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2.5 como concentración anual y latente como concentración diaria y zona latente por Material Particulado Respirable MP10 como

- concentración anual a las comunas de Concón Quintero y Puchuncaví. Ministerio de Medio Ambiente. Publicado en Diario Oficial: 09 de Junio de 2015.
- Decreto 13. Establece norma de emisión para centrales termoeléctricas. Ministerio de Medio Ambiente. Publicado en Diario Oficial: 23 de Junio de 2011.
- Decreto 38. Establece Plan de Prevención de Contaminación Atmosférica para la localidad de Huasco y su zona circundante. Ministerio de Medio Ambiente. Publicado en Diario Oficial: 30 de Agosto de 2017.
- Decreto 40. Declara Zona Latente por Material Particulado Respirable MP10 como concentración anual a la localidad de Huasco y su zona circundante. Ministerio de Medio Ambiente. Publicado en Diario Oficial: 23 de Mayo de 2012.
- Decreto 41. Declara Zona Latente por Material Particulado Respirable MP10, la zona geográfica comprendida por las comunas de Lota, Coronel, San Pedro De La Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tome, Hualpen y Talcahuano. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Publicado en Diario Oficial: 06 de Marzo de 2006.
- Decreto 50. Declara Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP10 como concentración anual a la zona circundante a la ciudad de Tocopilla. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Publicado en Diario Oficial: 04 de Octubre de 2007.
- Decreto 74. Declara Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP10 como concentración de 24 horas a la zona circundante a la ciudad de Tocopilla. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Publicado en Diario Oficial: 23 de Agosto de 2008.
- Decreto 105. Aprueba Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Ministerio de Medio Ambiente. Publicado en Diario Oficial: 30 de Marzo de 2019.
- DMC (Dirección Meteorológica de Chile) 2017. Consulta a plataforma web: <http://www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>
- Exponent 2011: CALPUFF Modeling System Version 6. User Instructions. [http://www.src.com/calpuff/download/CALPUFF\\_Version6\\_UserInstructions.pdf](http://www.src.com/calpuff/download/CALPUFF_Version6_UserInstructions.pdf)
- Hervé, D., Hervé, D., Schönsteiner, J., Mariangel, S., & Mewes, I. (2012). Empresas, medio ambiente y derechos humanos: la zona industrial de Quintero-Puchuncaví. En: Informe anual sobre derechos humanos en Chile 2012, Universidad Diego Portales (Eds) (pp. 131-162). Santiago, Chile.
- Jones, B., and B. C. O'Neill. 2017. Global Population Projection Grids Based on Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), 2010-2100. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).
- KAS Ingenieros, 2017. Análisis de costos de operación y rentabilidad de plantas a carbón en el mercado eléctrico chileno. Santiago, Chile.
- Kopplitz, N. et al. 2017: Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. Environmental Science & Technology. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b03731>
- Krewski, D et al. 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality (No. 140). Boston, MA: Health Effects Institute.
- Lee SJ, Seo YC, Jang HN, Park KS, Baek JI, An HS, Song KS, 2006. Speciation and mass distribution of mercury in a bituminous coal-fired power plant. Atmospheric Environment 40:2215–2224.
- Lockwood A.; Weelker-Hood K.; Raunch M. and Gottlieb B. 2009. El Impacto del Carbón sobre la Salud Humana. Physicians for Social Responsibility – PSR. EEUU.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente) Chile, 2017a. Programa para la Recuperación Ambiental y Social de Quintero – Puchuncavi. 356p.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente). Chile, 2017b. Programa para la Recuperación Ambiental y Social de Huasco. 290p.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente), 2018. Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. Resumen Ejecutivo. 21p.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente), 2019. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, plataforma web: <https://sinca.mma.gob.cl/>

- Ministerio de Energía, 2018. Estudio de variables ambientales y sociales que deben abordarse para el cierre o reconversión programada y gradual de generación eléctrica a carbón. Consultora INODU. 192p.
- Mujeres en Zona de Sacrificio (2019). Quintero – Puchuncavi, Zona de Sacrificio. Ponencia presentada en en “Encuentro de Zonas de Sacrificio”, Santiago, 2018.
- SNIFA (Sistema Nacional de Información y Fiscalización Ambiental), 2018. Datos abiertos: Emisiones de Centrales Termoeléctricas (D.S. 13/2011) para el año 2017. <http://snifa.sma.gob.cl/v2/DatosAbiertos>
- Toro RA, M Canales, RG Flocchini, RGE Morales, MA Leiva, 2014. Urban Atmospheric Ammonia in Santiago City, Chile. Aerosol and Air Quality Research, 14:33–44.
- UNEP (United Nations Development Programme), 2017. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases. UN Environment Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors.
- World Bank Databak, World Development Indicators. <http://databank.worldbank.org/data/home.aspx>
- World Health Organisation (WHO), 2006. WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005.
- World Health Organization (WHO), 2013. Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/238956/Health\\_risks\\_air\\_pollution\\_HRAPIE\\_project.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1)
- WHO (World Health Organization) , 2014. Global Health Estimates. [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/index1.html](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html)



Tipo Norma	:Decreto 29
Fecha Publicación	:12-09-2013
Fecha Promulgación	:30-07-2013
Organismo	:MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
Título	:ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA INCINERACIÓN, COINCINERACIÓN Y COPROCESAMIENTO Y DEROGA DECRETO N° 45, DE 2007, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA
Tipo Versión	:Única De : 12-09-2013
Inicio Vigencia	:12-09-2013
Id Norma	:1054148
URL	: <a href="https://www.leychile.cl/N?i=1054148&amp;f=2013-09-12&amp;p=">https://www.leychile.cl/N?i=1054148&amp;f=2013-09-12&amp;p=</a>

ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA INCINERACIÓN, COINCINERACIÓN Y COPROCESAMIENTO Y DEROGA DECRETO N° 45, DE 2007, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA

Núm. 29.- Santiago, 30 de julio de 2013.- Vistos: Lo establecido en la Constitución Política de la República de Chile, en sus artículos 19 número 8, y 32 número 6; en la ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en el artículo segundo de la Ley N° 20.417, Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente; en el DS N° 93, de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad y de Emisión; en el DS N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece la Norma de Emisión para la Incineración y Coincineración, y lo dispuso en la resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón, y

Considerando:

- 1.- Que por DS N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, se estableció la Norma de Emisión para la Incineración y Coincineración, publicada en el Diario Oficial el día 5 de octubre de 2007, fecha en que entró en vigencia.
- 2.- Que en el escenario energético actual, en donde los biocombustibles y otros combustibles alternativos han ingresado con impulso en la matriz energética del país, se hace necesario evaluar la modificación de la Norma de Emisión para la Incineración y Coincineración, a fin de ampliar el listado de los combustibles tradicionales, de manera que la norma no se aplique a aquellos materiales o sustancias que, utilizadas como combustible, no generan emisiones riesgosas para la salud de la población o el medio ambiente.
- 3.- Que es necesario, asimismo, incorporar nuevas definiciones en el cuerpo de la norma y modificar las definiciones existentes, así como su título, a fin de permitir una mejor aplicación de este instrumento, alineándose al mismo tiempo con los últimos desarrollos internacionales en la materia, tal como se presenta en las Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento, documento preparado por el Gobierno de Chile y aprobado en la décima reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación. Es así como se hace necesario incorporar el término "coprocesamiento" utilizado en el sector cementero, el cual se refiere a la recuperación de material y energía en el proceso de producción de clinker.
- 4.- Que se hace necesario también actualizar los métodos de medición de los contaminantes que regula la norma mencionada.
- 5.- Que es preciso incorporar a la norma de emisión los cambios necesarios para adecuarla a la nueva institucionalidad ambiental creada por la ley N° 20.417, que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, donde se establece que corresponde a esta última la fiscalización de las normas de emisión.
- 6.- Que, para la dictación de la presente revisión de norma, se ha considerado la resolución exenta N° 7.464, del 4 de diciembre de 2009, de la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, que dio inicio al proceso de revisión de la norma de emisión; la resolución exenta N° 15, de 19 de octubre de 2010, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprobó el anteproyecto respectivo y lo sometió a consulta pública; la opinión del Consejo Consultivo del Ministerio del Medio Ambiente, de fecha 18 de enero de 2012; el análisis de las observaciones formuladas durante la consulta pública; el pronunciamiento del Consejo de Ministros



para la Sustentabilidad, de fecha 30 de agosto de 2012, y los demás antecedentes que obran en el expediente.

Decreto:

TÍTULO PRIMERO  
Disposiciones Generales

Artículo 1º.- Establécese, para todo el territorio nacional, la norma de emisión para las instalaciones de incineración, las instalaciones de coincineración que correspondan a hornos rotatorios de cal o a instalaciones forestales y para las instalaciones de coprocesamiento que correspondan a hornos de cemento, que utilicen combustibles distintos a los tradicionales.

Su objetivo es prevenir los efectos negativos sobre la salud de la población y los recursos naturales, derivados de las emisiones tóxicas provenientes de los procesos de incineración, coprocesamiento y coincineración regulados por este decreto.

No estarán afectos a esta norma de emisión:

- a) La incineración de gases TRS (del inglés Total Reduced Sulphur), asociados a la fabricación de pulpa sulfatada, contaminantes regulados por el DS N° 37, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, el uso como combustible del licor negro y sus derivados y de los lodos generados en el tratamiento primario y/o secundario de efluentes, en instalaciones forestales.
- b) La incineración en crematorios, exclusivamente de cadáveres humanos.
- c) La incineración de productos cuarentenarios o con potencial de estar contaminados con agentes cuarentenarios.
- d) La quema de drogas decomisadas.

Artículo 2º.- Para los efectos del presente decreto, se entenderá por:

- a) Biomasa tratada: Aquella conformada por sustancias o materiales que han sido sometidas a tratamiento con productos químicos que contengan o puedan generar al menos uno de los elementos o compuestos químicos regulados por este decreto, con excepción del Material Particulado (MP) y del Monóxido de Carbono (CO).
- b) Combustible tradicional: Los combustibles señalados en los siguientes cuerpos normativos:

1.- NCh 2286 Of 1997  
Productos de petróleo -Combustible- Especificaciones de combustibles para uso marino.

2.- NCh 61 Of 1999  
Petróleo combustible (fuel oil) - Requisitos.

3.- NCh 62 Of 2000  
Petróleo Diésel - Requisitos.

4.- NCh 72 Of 1999  
Gases licuados de petróleo - Especificaciones.

5.- NCh 821 Of 1971  
Productos de petróleo Nafta solvente Especificaciones y Ensayo.

6.- NCh 2264 Of 1999  
Gas natural - Especificaciones.

7.- NCh. 1937 Of 2000  
Kerosene de aviación - Requisitos.

8.- NCh 63 Of 2000  
Kerosene - Requisitos.

9.- NCh 64 Of 1995  
Gasolina para motores de ignición por chispa - Requisitos.

10.- DS N° 456/97 de Economía.



"Requisitos para el Combustible"

11.- DS N° 66/2009, de Minsegres, "Revisa, Reformula y Actualiza Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)".

12.- R.E. N° 657/86 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Fija requisitos físicos del gas de ciudad suministrado a los usuarios con consumo doméstico.

13.- DS N° 11/2008, de Economía, "Aprueba definiciones y especificaciones de calidad para producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de bioetanol y biodiésel".

14.- NCh 3213 Of 2010 Biometano - Especificaciones.

También se entenderá por combustibles tradicionales a los siguientes combustibles sólidos de uso común: Antracita, carbón bituminoso (hulla), carbón sub-bituminoso (lignitos negros), lignitos, turba, carbón coke, carbón vegetal y biomasa no tratada, hidrógeno, biogás y otros combustibles definidos por el Ministerio de Energía.

- c) Concentración de oxígeno medido: Concentración de oxígeno en los gases de emisión, en porcentaje de volumen.
- d) Concentración de oxígeno de referencia normado: Concentración de oxígeno en los gases de emisión, en porcentaje de volumen, establecido en la tabla N° 3.
- e) Condición normal: Corresponde a la presión de 101 kilopascal (kPa) y a una temperatura de 25 grados Celsius (°C).
- f) Horno de cemento: Instalación donde se produce clinker, que cuenta con un horno rotatorio que utiliza como combustible sustancias o materiales distintos a los combustibles tradicionales.
- g) Horno rotatorio de cal: Instalación donde se produce cal, que cuenta con un horno rotatorio que utiliza como combustible sustancias o materiales distintos a los combustibles tradicionales.
- h) Incinerador o instalación de incineración: Toda construcción donde se realiza un tratamiento de destrucción térmica de sustancias o materiales distintos a los combustibles tradicionales. Incluye la incineración de gases generados en procesos de pirólisis o gasificación.
- i) Informe anual: Documento presentado anualmente por el titular de una instalación, tanto de incineración, coprocesamiento o coincineración, regulada por este decreto, ante la Superintendencia del Medio Ambiente, que contiene información relevante, generada en el período de un año, respecto de los tipos de sustancias o materiales procesados, los resultados de las mediciones realizadas y las condiciones de operación de la instalación.
- j) Instalación de coincineración: Hornos rotatorios de cal e instalaciones forestales que utilizan como combustible sustancias o materiales distintos a los combustibles tradicionales y cuya finalidad principal sea la fabricación de productos.
- k)  $\text{mg/Nm}^3$ : Unidad de medida de concentración correspondiente a un miligramo por metro cúbico en condiciones normales.
- l)  $\text{ng/Nm}^3$ : Unidad de medida de concentración correspondiente a un nanogramo por metro cúbico en condiciones normales.
- m) Percentil: Corresponde al valor 'q' calculado a partir de los valores efectivamente medidos, redondeados al  $\text{mg/Nm}^3$  (o  $\text{ng/Nm}^3$ ) más próximo. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada parámetro.

$X_1 \ll X_2 \ll X_3 \ll \dots \ll X_{n-1} \ll X_n$

El Percentil será el valor del elemento de orden 'k' para el que 'k' se calculará por medio de la siguiente fórmula:  $k = q * n$  donde 'q' = 0,95 para el Percentil 95, y 'n' corresponde al número de valores efectivamente medidos. El valor 'k' se redondeará al número entero más próximo.

- n) Plan de monitoreo: Documento presentado por única vez por el titular de un establecimiento de incineración, coprocesamiento o coincineración regulado por este decreto ante la Superintendencia del Medio Ambiente, y que contiene el conjunto de acciones a desarrollar para el cumplimiento de los requerimientos de monitoreo y medición del presente decreto.
- o) Producto cuarentenario: Cualquier producto de origen vegetal, animal o medio de transporte, embalaje y acomodación de cargas, que por su naturaleza o grado de elaboración presenta riesgo de introducción y diseminación de plagas de



importancia económica o ambiental no presentes en el país y de aquellas plagas presentes sometidas a control obligatorio.

p) Sistema de medición continua: Equipamiento utilizado para muestrear, acondicionar, analizar y proveer un registro ininterrumpido de emisiones de partículas, gases y parámetros del proceso.

q) Sistema de medición discreta: Equipamiento utilizado para muestrear, acondicionar, analizar y proveer un registro discontinuo en el tiempo de partículas, gases y parámetros de proceso.

r) Titular: Persona natural o jurídica responsable de la instalación de incineración, coprocesamiento o coincineración o su representante debidamente autorizado.

s) Valor límite de emisión: Corresponde a la concentración de una emisión cuyo valor no debe superarse, expresado en miligramos por metro cúbico normal ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) o nanogramos por metro cúbico normal ( $\text{ng}/\text{Nm}^3$ ) según corresponda, medido en la chimenea de la instalación bajo condiciones normales.

t) Zona de combustión: Corresponde al sector que ocupa el equipo de incineración, coincineración o coprocesamiento, donde las sustancias o materiales se combustionan una vez que son sometidas a altas temperaturas.

u) Instalación de coprocesamiento: Horno de cemento que utiliza combustibles distintos a los tradicionales, con el propósito de recuperar energía y recursos y reducir, en consecuencia, el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución.

#### TÍTULO SEGUNDO

Cantidades máximas de partículas y gases permitidos en el efluente y frecuencia de mediciones

Artículo 3°.- La norma de emisión para los contaminantes a que se refiere el presente decreto está determinada por los límites máximos establecidos en las tablas números 1, 2 y 3, analizados de acuerdo a los resultados que en conformidad al artículo 6 arrojen las mediciones que se efectúen sobre el particular.

Los límites máximos permitidos para las instalaciones de incineración se indican en la Tabla N° 1:

Tabla N° 1 Valores límites de emisión para la incineración

.



Contaminante	Valor Límite de Emisión (mg/Nm <sup>3</sup> )
Material Particulado (MP)	30
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	50
Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	300
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Monóxido de Carbono (CO)	50
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo (Pb) + Zinc (Zn) y sus compuestos, indicado como metal, suma total.	1
Contaminante	Valor Límite de Emisión (mg/Nm <sup>3</sup> )
Arsénico (As) + Cobalto (Co)+ Níquel (Ni) +Selenio (Se) +Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb)+ Cromo (Cr)+ Manganeso (Mn)+Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	2
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5
Dioxinas y furanos TEQ <sup>1</sup>	0,2 ng/Nm <sup>3</sup>

<sup>1</sup>TEQ: Factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998.



Los límites máximos permitidos para los hornos de cemento y los hornos rotatorios de cal que utilicen combustibles distintos a combustibles tradicionales se indican en la Tabla N° 2:

Tabla N° 2 Valores límites de emisión para coprocesamiento en hornos de cemento y co-incineración en hornos rotatorios de cal

Contaminante	Valor Límite de Emisión (mg/Nm <sup>3</sup> )
Material Particulado (MP)	50
Carbono Orgánico Total (COT) <sup>1</sup>	20
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo y sus compuestos, indicado como metal (Pb)	1
Arsénico (As)+Cobalto (Co)+ Níquel (Ni)+Selenio (Se)+Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb)+ Cromo (Cr)+ Manganeso (Mn)+ Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	2
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5
Dioxinas y furanos TEQ <sup>2</sup>	0,2 ng/Nm <sup>3</sup>

<sup>1</sup>La Superintendencia del Medio Ambiente autorizará exenciones a este límite en los casos en que el COT no provenga de las sustancias o materiales utilizados como combustible. En este caso, la emisión no podrá ser superior al valor límite de emisión indicado en la tabla, más el valor de la línea de base que corresponde a las emisiones que provengan de sustancias o materiales utilizados como combustibles. Para ello los titulares deberán presentar antecedentes fundados.



2TEQ: Factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998.

Los límites máximos permitidos para instalaciones forestales que coincinieren biomasa forestal tratada se indican en la Tabla N° 3:

Tabla N° 3 Valores límites de emisión para coincineración en instalaciones forestales

Contaminante	Valor Límite de Emisión (mg/Nm <sup>3</sup> )
Material Particulado (MP)	50
Carbono Orgánico Total (COT)	20
Monóxido de Carbono (CO)	50
Mercurio y sus compuestos, indicado como metal (Hg)	0,1
Cadmio y sus compuestos, indicado como metal (Cd)	0,1
Berilio y sus compuestos, indicado como metal (Be)	0,1
Plomo y sus compuestos, indicado como metal (Pb)	1
Arsénico (As)+Cobalto (Co)+ Níquel (Ni)+Selenio (Se)+Telurio (Te) y sus compuestos, indicado como elemento, suma total	1
Antimonio (Sb)+ Cromo (Cr)+ Manganeso (Mn)+ Vanadio (V)	5
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	30
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	5
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5
Dioxinas y furanos TEQ <sup>1</sup>	0,2 ng/Nm <sup>3</sup>

1TEQ: Factor tóxico equivalente para mamíferos de la Organización Mundial de Salud de 1998.

Artículo 4°.- Los valores límites de emisión establecidos en las Tablas Nos 1, 2 y 3 están referidos a un contenido de oxígeno en los gases, según lo señalado en la Tabla N° 4.



Tabla N° 4 Contenido de oxígeno de referencia en los gases de emisión

Tipo de sustancia o material a incinerar, coprocesar o coincinerar	% de Oxígeno	
	Incineración	Coprocesamiento y coincineración
Sustancias líquidas	3 %	10%
Sustancias gaseosas solas o combinadas con sustancias líquidas	3 %	10%
Materiales sólidos solos o combinados con sustancias líquidas o gaseosas	11%	10%

Si el contenido de oxígeno medido es distinto a lo estipulado en la Tabla N° 4, las concentraciones medidas se deberán corregir según lo establece la siguiente fórmula:

$$Cc = \frac{Cm \times (21 - \% \text{ de oxígeno normado según Tabla N°4})}{(21 - \% \text{ oxígeno medido})}$$

Donde:

Cc = concentración de contaminante corregida a % de oxígeno normado.  
Cm = concentración de contaminante medida.

Artículo 5°.- La frecuencia de las mediciones a que deben someterse las instalaciones reguladas por este decreto será de una vez al año.

Sin perjuicio de lo anterior, para los siguientes parámetros se deberá contar con un sistema de medición de tipo continuo en la chimenea de evacuación de gases de combustión:

Las instalaciones de incineración:

- Material particulado (MP)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Los hornos de cemento y los hornos rotatorios de cal que utilicen combustibles distintos a combustibles tradicionales:

- Material particulado (MP)

Las instalaciones forestales que coincineren biomasa forestal tratada:

- Material particulado (MP)
- Monóxido de carbono (CO)

No obstante lo establecido en el primer inciso del presente artículo, la Superintendencia del Medio Ambiente podrá solicitar fundadamente la realización de mediciones adicionales. A su vez, los titulares podrán fundadamente solicitar a la



Superintendencia mencionada la disminución tanto en la frecuencia como en el número de contaminantes sometidos a medición. Esto último, siempre y cuando el titular pueda demostrar ante la señalada Superintendencia que las emisiones son inferiores a los valores límite de emisión establecidos en las Tablas Nos 1, 2 o 3, según corresponda. La demostración se basará en la información sobre la calidad de las sustancias o materiales procesados, el cumplimiento de las condiciones de operación a que se refiere el artículo 7° y los resultados de las mediciones realizadas. La Superintendencia deberá fundar su decisión al momento de dar lugar a la disminución de frecuencia y número de contaminantes a ser considerado en el monitoreo respectivo.

Artículo 6°.- Los valores de emisión medidos se deben corregir de acuerdo a los porcentajes de oxígeno establecidos en la Tabla N° 4.

La norma de emisión se considerará sobrepasada si el valor de emisión medido en forma discreta de uno o más de los contaminantes regulados es mayor a lo indicado en las Tablas Nos 1, 2 ó 3, respectivamente.

En las instalaciones de incineración reguladas por este decreto se considerará sobrepasada la norma de emisión, respecto de los parámetros que se deben medir en forma continua, conforme al artículo 5° del presente decreto, si el percentil 95 de los valores horarios de emisión es mayor al valor establecido en la Tabla N° 1. También se considerará sobrepasada la norma si cualquier valor medio horario es mayor al valor absoluto establecido en la Tabla N° 1, multiplicado por 1,25.

En las instalaciones de coprocesamiento reguladas por este decreto, se considerará sobrepasada la norma de emisión, respecto de los parámetros que se deben medir en forma continua, conforme al artículo 5° del presente decreto, si el valor diario de emisión, calculado sobre la base de valores horarios, es mayor al valor establecido en la Tabla N° 2.

Asimismo, en las instalaciones de coincineración reguladas por este decreto, se considerará sobrepasada la norma de emisión, respecto de los parámetros que se deben medir en forma continua, conforme al artículo 5° del presente decreto, si el valor diario de emisión, calculado sobre la base de valores horarios, es mayor al valor establecido en las Tablas Nos 2 o 3, en su caso.

### TÍTULO TERCERO Condiciones de operación

Artículo 7°.- Las instalaciones de incineración, las de coincineración y las de coprocesamiento deberán cumplir con las condiciones de operación señaladas en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5 Condiciones de operación para incineración, coprocesamiento y coincineración

Condición de operación	Incineración	Coprocesamiento y coincineración
Temperatura mínima de los gases en la zona de combustión	850 °C 1100 °C si procesa sustancias o materiales con más de un 1 % de cloro en peso	850 °C 1100 °C si procesa sustancias o materiales con más de un 1 % de cloro en peso
Tiempo mínimo de residencia de los gases en la zona de combustión bajo las temperaturas señaladas	2 segundos	2 segundos

Artículo 8°.- Asimismo, las instalaciones de incineración, coprocesamiento o coincineración reguladas por este decreto y que procesen sustancias o materiales que contengan cloro, deberán reducir al mínimo técnicamente posible el tiempo de



enfriamiento de los gases de emisión desde los 400°C hasta los 200°C.

TÍTULO CUARTO

Metodología de medición y control de la norma

Párrafo 1°

De las metodologías

Artículo 9°.- Las metodologías de medición para partículas y gases serán las indicadas en la Tabla N° 6. Adicionalmente, se podrá utilizar un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América o por la Unión Europea.

Tabla N° 6 Métodos de medición para la incineración, coprocesamiento y coincineración

.



Contaminante	Método de medición
Material Particulado (MP)	Método CH-5, Determinación de las emisiones de partículas desde fuentes estacionarias
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Método CH-6C, Determinación de las emisiones de dióxido de azufre desde fuentes fijas (Procedimiento con analizador instrumental)
Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Método CH-7E, Determinación de las emisiones de dióxido de nitrógeno desde fuentes estacionarias (Procedimiento con analizador instrumental)
Monóxido de Carbono (CO)	Método CH-10, Determinación de las emisiones de monóxido de carbono desde fuentes estacionarias
Carbono Orgánico Total (COT)	Método CH-25 A, Determinación de la concentración de los compuestos orgánicos volátiles totales mediante un analizador de ionización de flama
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Método CH-3A, Determinación de las concentraciones de oxígeno, anhídrido carbónico y monóxido de carbono en las emisiones de fuentes fija (Procedimiento con analizador instrumental)
Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Berilio (Be), Arsénico (As), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Selenio (Se), Telurio (Te), Antimonio (Sb), Cromo (Cr), Manganeso (Mn), Vanadio (V)	CH-29 Determinación de emisiones de metales de fuentes estacionarias
Acido Clorhídrico (HCl), Acido Fluorhídrico (HF)	CH-26A Determinación de emisiones de Halógenos y HALEGENUROS de Hidrógeno de fuentes estacionarias - Método Isocinético
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	EPA Method 0031, Volatile Organic Sampling Train
Dioxinas y Furanos TEQ	CH-23 Determinación de emisiones de dibenzo-p-dioxinas y dibenzo furanos policlorados provenientes de residuos municipales

Para los sistemas de monitoreo continuo de emisiones, se aceptarán las mediciones realizadas con equipos que cuentan con la aprobación de la USEPA o, en su defecto, con la aprobación de la Unión Europea, y que se basen en uno de los principios de medición señalados en la Tabla N° 7 y otros principios que cuentan



con la aprobación de la USEPA o, en su defecto, con la aprobación de la Unión Europea.

Tabla N° 7 Principios de medición continua para la incineración, coprocesamiento y coincineración

Contaminante	Principio de Medición
Material particulado	Dispersión de luz Atenuación Beta Extinción de luz u opacimetría
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ), Óxido de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) y Monóxido de Carbono (CO)	Absorción de Radiación Ultravioleta Absorción de Radiación Infrarroja Fluorescencia Ultravioleta Quimiluminiscencia Ultravioleta Análisis de Transformada de Fourier de Radiación Infrarroja (FT-IR)

Párrafo 2°  
Del Sistema de Medición

Artículo 10.- Las mediciones deben ser realizadas por entidades técnicas autorizadas por la Superintendencia del Medio Ambiente, la que deberá mantener a disposición del público un listado que identifique a dichas entidades.

Artículo 11.- Las instalaciones de incineración, coprocesamiento o coincineración, reguladas por este decreto, deberán contar con un sistema de medición de tipo continuo de los siguientes parámetros en la chimenea de evacuación de gases de combustión:

- Temperatura (°C)
- Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Además de lo establecido en el inciso anterior, se deberá monitorear en forma continua el funcionamiento de los equipos de control de emisiones, midiendo un parámetro de emisión o un parámetro apropiado de operación, como la temperatura del gas de combustión antes del ingreso al sistema de tratamiento de contaminantes atmosféricos, el descenso de la presión o el caudal del lavador de gases de combustión, o cualquier otro, de acuerdo a las características propias de cada instalación.

Párrafo 3°  
Del plan de monitoreo

Artículo 12.- Todo titular de una instalación de incineración, coprocesamiento o coincineración, regulada por este decreto, debe presentar ante la Superintendencia del Medio Ambiente, por única vez y dentro del plazo de seis meses desde la entrada en vigencia del presente decreto y de acuerdo a lo dispuesto en el mismo, un plan de monitoreo de las mediciones a realizar. Dicho servicio se pronunciará respecto de cada plan mediante resolución fundada y en un plazo no superior a dos meses.

Los planes de monitoreo a que se refiere este artículo deberán contener, a lo menos, la siguiente información:

- a) El cronograma de las mediciones a realizar.
- b) Los contaminantes a ser medidos.
- c) Las sustancias o materiales utilizados como combustible durante las mediciones, las cuales deberán ser las más peligrosas desde el punto de vista de sus emisiones.



- d) Las especificaciones técnicas del o los equipos particulares de medición propuestos.
- e) Los métodos de análisis a utilizar.
- f) Los laboratorios que realizarán las mediciones.

Las instalaciones nuevas deberán presentar dicho Plan en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (SEIA).

El plan de monitoreo deberá actualizarse mediante el respectivo Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA), cada vez que la instalación sufra alguna modificación que deba someterse al SEIA.

Párrafo 4°  
Del informe anual

Artículo 13.- Todo titular de una instalación, tanto de incineración, de coprocesamiento como de coincineración, regulada por este decreto, debe presentar en el mes de enero de cada año, ante la Superintendencia del Medio Ambiente, un informe técnico del año calendario anterior que explicita la siguiente información en forma procesada:

- a) Los resultados de las mediciones discretas realizadas.
- b) Los registros de las mediciones continuas de la instalación.
- c) Las especificaciones técnicas de los equipos de medición utilizados.
- d) Las condiciones de operación en el período de evaluación y bajo las cuales se han realizado las mediciones.
- e) En el caso de las instalaciones de coincineración y coprocesamiento, los tipos y cantidades de sustancias y materiales utilizados como combustible.
- f) El resumen de las situaciones anormales de funcionamiento y las medidas aplicadas.

La información base que sirva de sustento al informe anual deberá estar disponible en las instalaciones de incineración, coprocesamiento y coincineración reguladas por este decreto, a lo menos por 2 años.

Artículo 14.- Anualmente, la Superintendencia del Medio Ambiente deberá enviar al Ministerio del Medio Ambiente una copia del Informe Anual a que se refiere el artículo 13 del presente decreto. Dicho informe deberá ir acompañado de la siguiente información relativa a la fiscalización y cumplimiento de la norma:

- a) Identificación de las instalaciones sometidas a control bajo esta norma.
- b) Número de inspecciones realizadas a las instalaciones sometidas a control.
- c) Principales dificultades encontradas en la implementación de la norma.
- d) Resumen de la situación de cumplimiento de la norma.

Dicha información será utilizada por el Ministerio señalado para realizar un seguimiento a la implementación de la norma y evaluar sus necesidades de modificación.

TÍTULO QUINTO  
De la fiscalización y vigencia de la norma

Artículo 15.- Corresponderá el control y fiscalización de la presente norma de emisión a la Superintendencia del Medio Ambiente.

Artículo 16.- El presente decreto entrará en vigencia el día de su publicación en el Diario Oficial. A contar de esa fecha se deroga el DS N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece la Norma de Emisión para la Incineración y Coincineración.

Toda instalación nueva deberá cumplir con las normas de emisión establecidas en el presente decreto en un plazo no superior a 6 meses, contado desde la entrada en operación de la instalación.

ARTÍCULOS TRANSITORIOS

Artículo primero: Las instalaciones a que se refiere este decreto, que hayan



dado cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 12 del DS N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, con anterioridad a la vigencia del presente decreto, estarán exentos de cumplir con lo dispuesto en el artículo 12 del mismo, con excepción de lo dispuesto en el inciso final.

Artículo segundo: Las instalaciones de coincineración y coprocesamiento que cuenten con autorización de la autoridad sanitaria para incinerar, coprocesar o coincinerar sustancias o materiales, otorgada con anterioridad a la entrada en vigencia del DS N° 45, de 2007, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, deberán cumplir con el límite de emisión para material particulado de 100 mg/Nm<sup>3</sup> hasta el día 5 de octubre de 2013. A partir de esa fecha deberán cumplir con el límite de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

Artículo tercero: Las instalaciones mencionadas en el artículo anterior podrán solicitar a la Superintendencia del Medio Ambiente que se les exima del monitoreo o se les autorice a disminuir la frecuencia de éste, en aquellos parámetros donde se haya demostrado cumplimiento de los límites de emisión previstos en esta norma, a través de mediciones históricas que cumplan con los criterios señalados en el inciso final del artículo 5°. Las mediciones históricas deberán corresponder al menos a tres años. La Superintendencia deberá fundar su decisión al momento de eximir del monitoreo o dar lugar a la disminución de frecuencia de éste.

Anótese, tómese razón y publíquese.- SEBASTIÁN PIÑERA ECHENIQUE, Presidente de la República.- María Ignacia Benítez Pereira, Ministra del Medio Ambiente.- Cristián Larroulet Vignau, Ministro Secretario General de la Presidencia.  
Lo que comunico a Ud. para su conocimiento.- Ricardo Irarrázabal Sánchez, Subsecretario del Medio Ambiente.



Observaciones

## PROYECTO NORMA DE EMISION PARA TERMOELECTRICAS

Cambios del gobierno Piñera al Anteproyecto (Resolución Exenta N° 7550, del 7 de diciembre de 2009)

La prioridad de contar con una norma de emisión para plantas termoeléctricas se ha discutido reiteradamente en Chile desde los años 90. Como resultado de ello, la norma de emisión para termoeléctricas **se incluyó en el 4º Programa Priorizado de Normas el año 1999**<sup>1</sup> Seis años más tarde, en 2006, el Consejo de Ministros de la CONAMA, reitero la urgencia de contar con esta norma, instruyendo dar inicio al proceso de estudio y formulación<sup>2</sup> (Ref: Acuerdo N° 302 del 25 de mayo de 2006).

La elaboración de la norma de emisión para termoeléctricas estuvo a cargo de un Comité Operativo conformado por los servicios públicos (MINAGRI, MINVU, MINSAL, CNE y CONAMA) y un Comité Ampliado con participación de las empresas generadoras y proveedoras AES-Gener, Guacolda, Endesa, Edelnor, Electroandina, Arauco, Colbún, CMPC, Alstom, Gas-Atacama, CGE, Copec y Campanario, entre otras, y organizaciones no gubernamentales como Chile Sustentable.

Luego de varios retrasos en los estudios de base para la norma y valiosos aportes de especialistas del Banco Mundial, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, del Instituto noruego de Control Atmosférico y del Clean Coal Center de Inglaterra, la propuesta de anteproyecto fue presentada por CONAMA al Comité Ampliado, en noviembre de 2009. y luego se publicó anteproyecto<sup>3</sup>; en el diario Oficial del 15 de diciembre de 2009, dándose inicio al periodo de consulta pública

La norma de emisión para termoeléctricas, priorizada hace 10 años en Chile y elaborada durante los últimos 4 años, se aplicara a fuentes nuevas y existentes. Actualmente el presidente estudia las recomendaciones del Consejo de Ministros para publicar la norma definitiva-

**OBSERVACIONES DE CHILE SUSTENTABLE A LA PROPUESTA DEL COMITÉ DE MINISTROS QUE RELAJA EL ANTEPROYECTO DE NORMA (Resolución Exenta N° 7550- 7 /12 /2009). PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL EN DICIEMBRE DE 2009 .**

### 1-CONSIDERACIONES GENERALES

<sup>1</sup> (Acuerdo N° 99 del 26 de marzo de 1999 del Consejo Directivo de la CONAMA)

<sup>2</sup> (Ref.: Acuerdo N° 302 del 25 de mayo de 2006).

<sup>3</sup> (Día 5 de diciembre de 2009)

## **CHILE SUSTENTABLE**

- a) La norma constituye un importante logro, que saca a Chile del atraso normativo de 10 años, cuando el Consejo de Ministros de CONAMA puso urgencia a esta norma, incluyéndola en el Programa Priorizado de Normas de 1999.
- b) La norma viene a cumplir con las recomendaciones que hizo en el 2007 la OECD y responde a los “Lineamientos” de la Política Energética publicados por la CNE en 2008.
- c) La norma es crucial para la salud, el ambiente y la agricultura, porque hoy el 99% del Sistema Interconectado Norte Grande (SING) y 47% del Sistema Interconectado Central (SIC) corresponde a termoeléctricas a carbón, gas natural y diesel, y el Plan de Obras 2009, de CNE, muestra más de 2.200 nuevos megawatts en base a carbón ingresando antes de 2012, con un significativo aumento de emisiones contaminantes.
- d) La mayoría de las termoeléctricas en Chile país no controla contaminantes. Por ejemplo: De las 13 plantas a carbón, sólo 2 tienen desulfurizadores y ninguna controladores de óxidos de nitrógeno (NOx). De las 38 termoelectricas a petróleo, ninguna tiene desulfurizadores, ni controla NOx, y sólo 2 tienen filtros para material particulado.
- e) Más de una docena de las termoeléctricas en operación tiene entre 30 y 70 años de antigüedad; y que no tienen obligación alguna de repotenciación o abatimiento de emisiones, en circunstancias de que la Comisión Nacional de Energía (CNE) reconoce una vida útil de 25 años a las plantas. Por lo cual después de este periodo deberían realizar una adecuación tecnológica y una nueva evaluación ambiental.
- f) La tecnología usada por las termoeléctricas hoy en construcción en el país, cumple con los parámetros del anteproyecto de norma, dado que es la tecnología disponible en el mercado.
- g) La norma de emisión para termoeléctricas, es de carácter nacional y se aplicara a las fuentes nuevas y existentes. La tecnología considerada por el Anteproyecto para el cumplimiento de la norma de emisiones para termoeléctricas, es la que actualmente domina el mercado para control de Material Particulado (MP), Dióxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Óxidos de Nitrógeno (NOx); y corresponden a técnicas de abatimiento que ya han sido incorporadas en plantas que están operando hoy en Chile.

**La norma propuesta por el gobierno Piñera respeta los niveles sugeridos por el Anteproyecto de diciembre 2009 para centrales nuevas; es decir 30 mg/m<sup>3</sup> para Material Particulado,; 200mg/m<sup>3</sup> para Dioxido de Azufre, y 200 mg/m<sup>3</sup> para Oxidos de Nitrogeno.**

**Pero la norma propuesta por el gobierno Piñera relaja la norma propuesta por el anteproyecto de 2009 para las centrales existentes: por ejemplo, acepta niveles de**

**CHILE  
SUSTENTABLE**

**emisión de 400 mg/m<sup>3</sup> de Dioxido de Azufre, lo cual duplica lo exigido en el anteproyecto de la norma; y permite la emisión de 500 mg/m<sup>3</sup> de Oxidos de Nitrogeno, lo cual incrementa el nivel de 400 mg/m<sup>3</sup> propuestos en el anteproyecto de 2009.**

Además de abatir material particulado y óxidos de azufre, el anteproyecto establecía límites, para Mercurio, Vanadio y Niquel, (metales pesados altamente tóxicos) los que se reducen de todas formas como un co-beneficio de incorporar sistemas de control para MP y para SO<sub>2</sub>, sin ninguna tecnología adicional.

**Sin embargo, la norma del gobierno de Piñera opto por no establecer límites para Niquel, y Vanadio, argumentando la variabilidad de contenido de estos metales en el carbón que se usa en Chile y la falta de mediciones, por lo que postergo la eventual limitación de la emisión de estos metales pesados en 5 años, cuando se revise la norma.**

Para el mercurio si se acepto establecer el límite desde ahora, lo cual permite acreditar avances en el Plan Nacional para la Gestión de Riesgos del Mercurio<sup>4</sup>..

## **2. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS:**

**Con respecto a los argumentos sobre evaluación del aumento de costos de operación del SIC y del SING para el cumplimiento de la norma de emisión y el posible efecto en las tarifas:**

a) En el texto de fundamento de la norma de emisión no queda clara la explicación del aumento del costo de operación de cada Sistema, con respecto al año base, que se afirma es el año 2008, ya que desde el año 2004, la fijación de precios nudo de la CNE en base al Plan Indicativo de Obras, incluye costos de equipos de mitigación, en los costos de inversión de los proyectos térmicos.

b) La Comisión Nacional de Energía establece la tarifa a los clientes residenciales a través de la función de costo y proyección de la demanda; y desde el año 2004 el Informe de precio nudo considera el costo de inversión de los equipos de abatimiento, en el costo de inversión de las nuevas termoeléctricas, por lo cual, ya está incluido este costo en la tarifa que estamos pagando desde el 2004 los clientes residenciales.

En consecuencia, las centrales existentes están ya percibiendo este benéfico desde el 2004, pese a no haber realizado estas inversiones, lo anterior en el supuesto que los contratos con clientes libres se han adaptado a esta nueva realidad del mercado que debió internalizar el año 2004.

---

<sup>4</sup> Acuerdo 415/2009 del Consejo Directivo de CONAMA, 25 de agosto de 2009.

## **CHILE SUSTENTABLE**

c) Por esta razón, consideramos inexplicablemente tardía que la norma entre en vigencia recién el año 2014 o 2015; ya que deberíamos esperar 8 años para que los generadores en su función de comercializadores adaptaran los contratos con clientes libres. Siendo los contratos con clientes regulados a precio de nudo y este ya desde el año 2004 reconoce la existencia de equipos de abatimiento, el plazo para la implementación de la norma debiera ser a más tardar en 24 meses de publicada la norma. Ello porque además la tecnología disponible en el mercado y masivamente comercializada hoy permite cumplir los estándares que fija la norma de emisión.

d) Con respecto a la seguridad de los Sistemas, el gobierno Piñera se hizo eco de comentarios sobre la dificultad de instalar los equipos de mitigación de emisiones y responder a sus compromisos de despacho de energía. Sin embargo tal problema no existe, pues tal como se explica en la Fundamentación de la norma, los estudios de ingeniería se pueden realizar mientras las plantas están en operación, y la instalación de los equipos no demoran más de 7 a 9 días. Por tanto su instalación puede hacerse coincidir con las mantenciones programadas con los Centros de Despacho Económico de Carga CEDEC, respectivo a cada sistema eléctrico. De demorarse más de lo programado, cada CEDEC tiene procedimientos habituales de reprogramación, asegurando el mínimo costo para cada sistema eléctrico.

### **3-OBSERVACIONES A LA NORMA DE EMISION PARA TERMoeLECTRICAS PROPUESTA POR EL CONSEJO DE MINISTROS EN RELACION AL ANTEPROYECTO DE RESOLUCION EXENTA N°7550, DEL 7 DE DICIEMBRE DE 2009**

**3.1 El anteproyecto de norma de emisión para termoeléctricas fundamenta los valores de emisión para los contaminantes material particulado (MP), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de acuerdo a la mejor tecnología.** De acuerdo a este principio, sería necesario exigir un valor igual o menor a 30 mg/m<sup>3</sup> para MP tanto para nuevas y existentes, debido a que existe tecnología probada y disponible en el mercado para remover material particulado.

a) En Chile existen varias zonas saturadas por este contaminante (MP): Concepción Metropolitano, Ventanas, Tocopilla, Valle Central de Rancagua, etc. Por lo cual, se hace imprescindible prevenir y/o controlar las emisiones de MP. Para que atrasar los parámetros si existe la tecnología para resolver la situación de zonas saturadas?

Por ello proponemos mejorar la norma a un valor de emisión menor o igual a 30 mg/m<sup>3</sup> tanto para termoeléctricas nuevas como existentes

b) Las emisiones de SO<sub>2</sub> provocan graves problemas a la salud especialmente en adultos mayores y niños; también el impacto de la lluvia ácida sobre la flora y fauna hoy esta perjudicando crecientemente al sector frutícola y forestal, de gran importancia en la economía del centro y sur del país.

## **CHILE SUSTENTABLE**

Además, contaminantes como el NOx provocan varios efectos, entre los que destacan: la formación de ozono en la atmósfera lo cual afecta a la vegetación, la formación de nitratos, es decir aerosoles secundarios (MP2.5), y el NOx es considerado un gas invernadero.

Dentro de las recomendaciones de la OECD en la “Evaluación de Desempeño Ambiental de Chile” el año 2005, y dentro de las metas establecidas con nuestro ingreso a dicho bloque en 2009 esta la recomendación de reducir las emisiones de SO2 y ozono, señalando que es necesario proteger la salud pública y los recursos naturales.

Por otro lado, el Fundamento de la norma señala que es posible reducir NOx a través de tecnología básica, como quemadores LOW NOx.

Por todo ello consideramos que los límites de NOx de 400 mg/Nm<sup>3</sup> para plantas existentes y de 200 mg/Nm<sup>3</sup> para plantas nuevas, que establece el Anteproyecto de Norma son excesivamente altos y que con una gestión energética más eficiente y tecnología básica podrían alcanzar fácilmente mejores niveles.

En consecuencia proponemos que para unidades termoeléctricas a carbón y petróleo, debería exigirse un nivel de emisión de SO2 menor a 100 mg/m<sup>3</sup> y de NOx menor a 50 mg/m<sup>3</sup>.

c) Actualmente dentro del parque térmico existen centrales con más de 30 años de antigüedad y una con más de 50, a pesar de que la CNE considera una vida útil de 25 años. Sin embargo la autoridad no les ha hecho exigencias de modernización tecnológica y repotenciamiento. El caso de Laguna Verde, es ilustrativo al respecto, percibe ingresos por potencia instalada, pero no cumple ningún comportamiento ambiental. Por ello proponemos que se exija a dichas centrales un Estudio de Impacto Ambiental, con el objeto de solucionar su obsolescencia, ineficiencia y graves impactos para la salud, el medioambiente y la actividad agrícola.



# CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL (NDC) DE CHILE

ACTUALIZACIÓN 2020



**DOCUMENTO EN REVISIÓN**

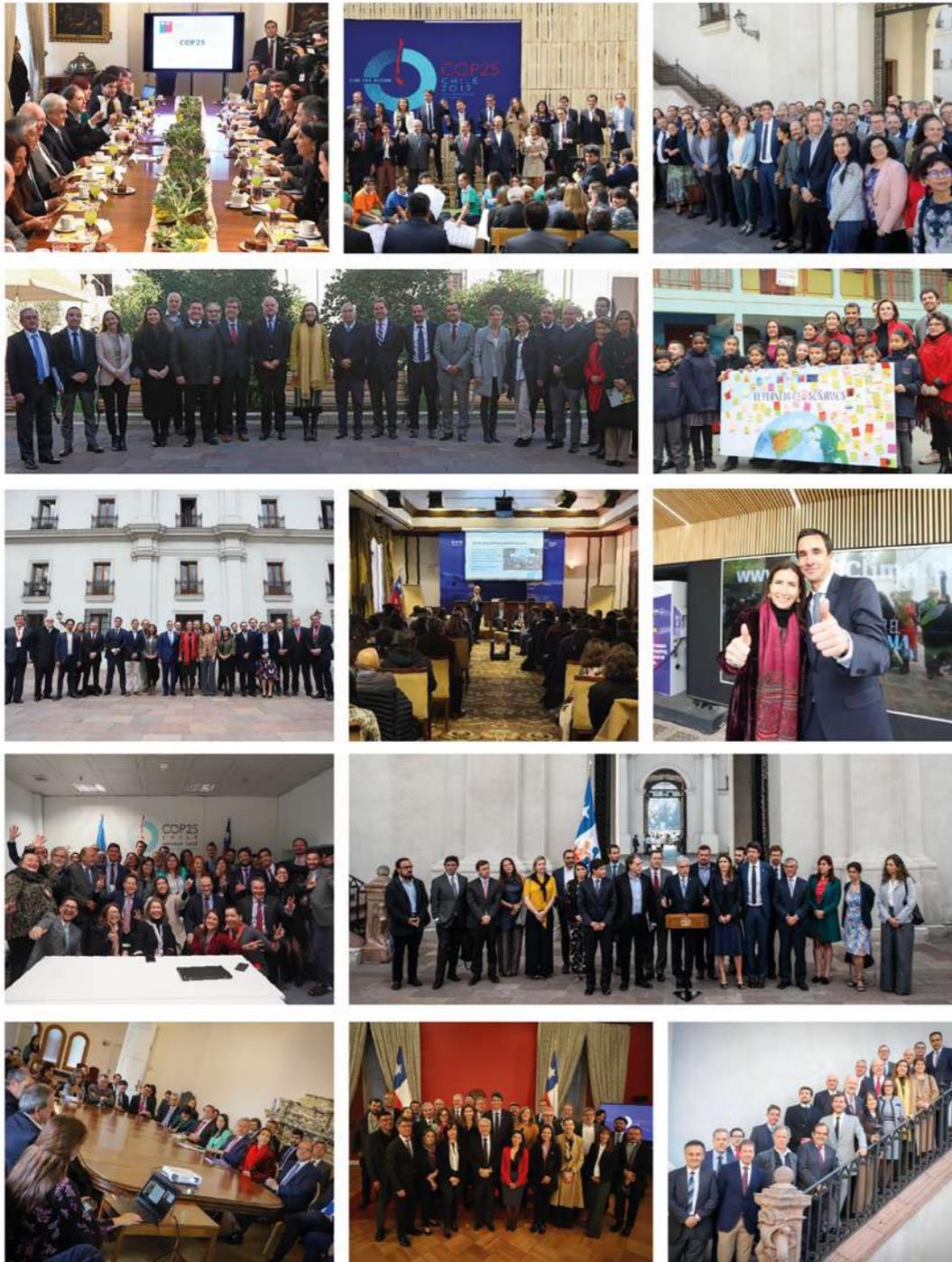
## CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL (NDC) DE CHILE



El Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, en su sesión del 17 de marzo de 2020, acordó pronunciarse favorablemente sobre los contenidos de esta actualización de la Contribución Nacional al Acuerdo Climático de París 2015.

La presente actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile (NDC), fue aprobada por el Presidente de la República, y posteriormente presentada, el 09 de abril de 2020, a la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.





*Cada generación enfrenta su propio desafío. Pero ninguna generación ha debido enfrentar un desafío tan urgente y tan formidable como el que nuestra generación está enfrentando en materia medioambiental: el cambio climático y el calentamiento global, que es la madre de todas las batallas, porque es una batalla por la supervivencia de la humanidad.*

*Las evidencias científicas son absolutamente abrumadoras y concluyentes. Incluso si se cumplieran ahora los compromisos adquiridos del Acuerdo de París, la temperatura excedería largamente la meta trazada, llegando a casi 3,4 grados de incremento, lo cual significa un desastre. Necesitamos compromisos y medidas mucho más exigentes y ambiciosas para que el aumento de la temperatura no exceda de 1,5 grados.*

*Así lo hemos entendido en Chile y esta actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) fue desarrollada a través de un proceso participativo transversal, amplio y multisectorial. Procuramos abordar las distintas miradas y visiones de nuestro país, a través de distintos espacios de reflexión y encuentro en materia de cambio climático.*

*Quiero agradecer el valioso trabajo que han desarrollado tantas personas desde distintas instituciones, tanto estatales como no estatales, cuyos aportes nos permitieron trazar los nuevos y más ambiciosos objetivos y compromisos internacionales que aquí presentamos.*

*Destaco especialmente el trabajo, la visión y el aporte entregado por el Consejo Asesor Presidencial COP25, integrado por personalidades de distintos ámbitos, expresidentes de la República, representantes del mundo de la ciencia, de la sociedad civil, del sector público y privado, de los distintos poderes del Estado, la Contraloría General de la República y también representantes de los gobiernos locales.*

*También agradezco la inestimable colaboración del Comité Científico COP25 que, a través de sus siete mesas de trabajo, aportaron la voz y la mirada de la comunidad científica nacional. El rigor de su labor y el compromiso expresado a través de su mirada propositiva, han permitido fortalecer y potenciar la contribución de nuestro país, de acuerdo a los requerimientos de la ciencia a nivel internacional.*

*Asimismo, deseo reconocer la activa participación de la sociedad civil y la experiencia de los representantes de diversas organizaciones no gubernamentales que hicieron posible la incorporación de un nuevo pilar social en la actualización de nuestra NDC.*

*Este pilar se transformó en un eje de nuestro compromiso, poniendo en el centro de nuestra acción climática a las personas y sus comunidades, enfocando nuestros esfuerzos en avanzar en un proceso de transición justa y desarrollo sostenible.*

*Quiero valorar el aporte del sector privado que a través de sus organizaciones gremiales y distintas asociaciones, participó activamente del proceso, expresando su compromiso para transitar hacia una economía baja en emisiones y resiliente al clima. Compromiso que se está haciendo realidad con resultados concretos, como el proceso de cierre de centrales de generación de energía en base a carbón que ya se inició con 3 centrales, continuará con 7 centrales más al 2024, y que concluirá a más tardar el 2040 con el cierre de todas las centrales a carbón de nuestro país.*

*Agradezco la colaboración de los distintos ministerios y servicios públicos para avanzar en la materialización de acuerdos y compromisos multisectoriales, plasmados en la presente actualización. Reconocemos, asimismo, la generosa contribución de distintos organismos multilaterales y de la cooperación internacional que nos permitió desarrollar un proceso amplio y participativo.*

*Todo lo anterior ha sido posible gracias al compromiso, entusiasmo y participación de toda la ciudadanía que con sus ideas, propuestas y aportes contribuyeron a la actualización de la presente Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC).*

**Sebastian Piñera E.**  
Presidente de Chile

# 1

## Circunstancias Nacionales

Circunstancias nacionales

15

# 2

## Pilar Social de Transición Justa y Desarrollo Sostenible para la Actualización e Implementación de la NDC de Chile

2.1 La actualización de la NDC de Chile en un contexto de desarrollo sostenible y transición justa

23

25

2.2 Aplicación del pilar social de transición justa y desarrollo sostenible de la NDC de Chile

2.3 Compromisos en la aplicación del pilar social para la actualización e implementación de la NDC

27

# 3

## Componente de Mitigación

3.1 Contexto

31

3.2 Visión a largo plazo en materia de mitigación: neutralidad de GEI al 2050

32

3.3 Contribución en materia de mitigación

33

3.4 Trabajo de Chile en contaminantes de vida corta

34

## 4

**Componente de Adaptación**

4.1	Contexto	39
4.2	Contribución en materia de adaptación	40
4.2.1	Políticas, estrategias y planes de cambio climático	40
4.2.2	Áreas de mayor urgencia en la acción climática en materia de adaptación	43

## 5

**Componente de Integración**

5.1	Economía circular	49
5.1.1	Contexto	49
5.1.2	Contribución en materia de economía circular	49
5.2	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)	52
5.2.1	Contexto	52
5.2.2	Contribución en materia de UTCUTS	52
5.2.2.1	Bosques	52
5.2.2.2	Turberas	59
5.3	Transversal a ecosistemas	60
5.4	Océano	62
5.4.1	Contexto	62
5.4.2	Contribución en materia de océano	62

## 6

**Componente sobre Medios de Implementación**

6.1	Contexto internacional	71
6.2	Contexto nacional	72
6.3	Contribución en materia de creación y fortalecimiento de capacidades	74
6.4	Contribución en materia de desarrollo y transferencia de tecnologías	76
6.5	Contribución en materia de financiamiento climático	78

## 7

**Información para Facilitar la Claridad, Transparencia y Entendimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile**

7.1	Información respecto al punto de referencia	83
7.2	Marco temporal y periodo de implementación	83
7.3	Alcance y cobertura	84
7.4	Proceso de planificación	84
7.4.1	Visión el 2030 y 2050	85
7.4.2	Metodología de trabajo	85
7.4.3	Detalle del marco metodológico	87
7.4.4	Curvas de costo marginal de abatimiento	92
7.4.5	Carbono negro	94
7.5	Consideraciones de justicia y ambición a la luz de las circunstancias nacionales	95
7.5.1	Mitigación	95

---

## PRÓLOGO

---

Chile, al igual que todas las Partes que han suscrito el Acuerdo de París, debe implementar las acciones necesarias para cumplir con los compromisos adquiridos en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), y así transitar hacia un desarrollo inclusivo y sostenible. Estas contribuciones son los principales instrumentos que guían la acción climática en la búsqueda por detener el aumento de la temperatura promedio global, de aumentar la resiliencia del planeta, y de movilizar inversiones públicas y privadas en la senda de un desarrollo sostenible, que considere las variables ambientales, sociales y económicas de manera equilibrada.

Chile aceptó el desafío de liderar y organizar la COP25, impulsando el aumento de ambición de los países, expresado a través de mayores metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que permitan detener el aumento de la temperatura del planeta por debajo de los 2°C, guiando los esfuerzos a 1,5°C, en línea con lo que nos indica la evidencia científica.

Nuestro país refleja su compromiso con la acción climática a través de la presente actualización de la NDC, aumentando la ambición en todos sus componentes, así como también, poniendo un foco especial en la transparencia, claridad y seguimiento de las metas fijadas. En este sentido, el proceso de actualización de la NDC fue participativo, transversal y ampliado, recogiendo importantes observaciones y propuestas a través de la consulta pública.

La presente actualización de la NDC se dio en forma paralela a la elaboración del Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático para Chile, por lo que fue diseñada de tal forma de alinear nuestros compromisos climáticos internacionales con las directrices e instrumentos que propone el Proyecto de Ley. En dicho proyecto, se establecen los objetivos climáticos del país en el largo plazo, los principios que guiarán la acción climática, y al mismo tiempo, las estructuras y arreglos de gobernanza climática que permitirán avanzar hacia una economía baja en emisiones y resiliente al clima.

Es importante señalar que Chile, al igual que todo los países, se encuentra enfrentando una situación de pandemia por el COVID19. Esta situación puede resultar en una crisis sanitaria que requiere de nuestra atención y ocupación. En este sentido, nuestra prioridad está en superar esta crisis y en transitar hacia el desarrollo sostenible con un enfoque pragmático y transversal, teniendo como ejes centrales el bienestar de las personas y el territorio.

Las acciones que emprendamos hoy, conjuntamente con la transición justa hacia el desarrollo sostenible, definirán el tipo de sociedad que construiremos en las próximas décadas. Esto ha sido materia de especial atención en esta actualización, incorporando

1. Ver definición de contaminantes de vida corta o de forzadores climáticos de vida corta del IPCC en: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)

2. Proyecto "Mitigación de carbono negro en la actualización de la contribución nacionalmente determinada de Chile", que realiza el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) para el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), a través de financiamiento de ONU Medio Ambiente y la Coalición del Clima y Aire Limpio (CCAC).

un pilar social específico sobre transición justa y desarrollo sostenible. Este pilar guía la formulación e implementación de los compromisos incorporados en cada componente de esta actualización de la NDC, relevando la condición de mayor vulnerabilidad de grupos de la población más expuestos por situaciones de base.

La incorporación inédita del pilar social de transición justa y objetivos de desarrollo sostenible, se materializa en criterios de formulación para la actualización e implementación de la NDC. De esta forma, buscamos potenciar la sinergia entre los compromisos climáticos de Chile y la agenda nacional, evidenciando de forma clara el estrecho vínculo que existe entre las dimensiones climática y socio-ambiental. Esta visión integradora se basa en el aprendizaje adquirido respecto del rol central de las personas al momento de diseñar políticas en pro de un desarrollo sostenible, lo que se refleja en nuestra contribución como país.

En materia de mitigación, hemos avanzado significativamente para enfrentar los efectos del cambio climático, en línea con lo solicitado por la ciencia, imprimiendo ese sello de ambición en la actualización de la NDC. Esto queda reflejado en la meta de mitigación, modificando el indicador de intensidad de emisiones, condicional e incondicional, por un indicador absoluto incondicional, con una meta a alcanzar de 95 MtCO<sub>2eq</sub> al 2030, comprometiendo además alcanzar el máximo de emisiones (año peak) al 2025, y un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1.100 MtCO<sub>2eq</sub> para el período 2020-2030. Esta meta, corresponde a un punto intermedio en el camino a la carbono neutralidad al 2050 que hemos establecido en el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, el que actualmente se encuentra en discusión en el Congreso Nacional de Chile.

Otro ámbito relevante en la presente actualización se refiere a la integración de políticas públicas entre clima y aire limpio, con el fin de mitigar los contaminantes climáticos de vida corta,<sup>1</sup> específicamente el carbono negro (BC), el cual, contribuye tanto al calentamiento global como a la contaminación local. Por lo tanto, conscientes de la importancia de vincular los objetivos climáticos con la calidad del aire y favoreciendo que las personas perciban localmente los beneficios en su calidad de vida, se presenta una meta para reducir el carbono negro,<sup>2</sup> lo que conlleva múltiples beneficios en salud, al lograr ciudades más limpias y al minimizar los eventos locales de contaminación, junto con contribuir a la mitigación del cambio climático.

En cuanto a adaptación al cambio climático, se incorporaron importantes ajustes a partir de un trabajo de coordinación interinstitucional, incluyendo metas en dos ámbitos de especial ur-

gencia para construir un país más resiliente: i) la gestión del agua y saneamiento; y ii) la gestión de riesgos de desastres. Particularmente, en lo relativo a la gestión del agua, ámbito donde se ha agudizado la urgencia de acción climática, el compromiso se enfoca en el desarrollo de indicadores que permitan establecer metas de seguridad hídrica, a nivel territorial y organizacional; la gestión del agua a escala de cuencas; y aumentar la resiliencia del sector de servicios sanitarios. Estos compromisos representan un aumento de ambición, por cuanto incorporan metas medibles y se hacen cargo de aquellos ámbitos donde se ha detectado mayor urgencia, lo que permitirá enfocar la acción con miras a un país resiliente.

En particular, esta actualización de la NDC incorpora un nuevo componente de integración que contempla el rol de nuestros océanos, de la economía circular, de los bosques, de las turberas y de los ecosistemas, como elementos que contribuyen de forma integral a enfrentar tanto las causas como los efectos e impactos del cambio climático. Este es un esfuerzo por avanzar en una visión integrada y sinérgica en el diseño e implementación de la acción climática en Chile.

Respecto de los medios de implementación, se ha buscado la coherencia con los objetivos climáticos de largo plazo del país, procurando que la creación y fortalecimiento de capacidades, el desarrollo y transferencia de tecnologías, junto con el financiamiento climático, respondan a las prioridades establecidas a partir del objetivo de neutralidad de emisiones al 2050. En este sentido, es importante destacar que cada una de estas áreas de trabajo ha establecido como prioridad la definición de una visión estratégica alineada con la neutralidad de emisiones y la resiliencia climática, la que guiará e impulsará los compromisos específicos de cada uno de los componentes.

El tiempo de actuar es ahora, enfrentamos enormes desafíos y en Chile tenemos grandes oportunidades para transitar al desarrollo sostenible. La participación decidida de todos los actores —públicos, privados, sociedad civil, academia, ciencia y la ciudadanía en su conjunto— es esencial para poder tomar buenas decisiones e implementar nuestros compromisos. En esta senda avanzaremos con una visión de largo plazo, en la que se han relevado las acciones requeridas para abordar las necesidades integrales de nuestro país, con especial atención en los grupos más vulnerables de la sociedad, al igual que en nuestros ecosistemas más expuestos.



# 1

## CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

---

## CIRCUNSTANCIAS NACIONALES

---

Desde 2015, en que se presentó la primera NDC de Chile, se ha avanzado de manera sustantiva en el desarrollo de la institucionalidad, de las políticas y de las capacidades en materia de cambio climático. La presidencia de la COP25, ha representado un fuerte impulso en la sensibilización y conocimiento de la problemática de cambio climático en todos los niveles de nuestra sociedad, lo que se ha traducido en que el país quiera ser más ambicioso y quiera darle urgencia a la acción climática.

Para actualizar la NDC, se ha considerado la evidencia científica como un sólido sustento para las políticas y la acción climática, la cual indica que la influencia humana en el sistema climático es inequívoca y va en aumento; y que sus impactos se observan en todos los continentes y océanos.<sup>3</sup> En particular, el "Reporte Especial de Calentamiento Global de 1,5°C", indica que el calentamiento ya alcanza 1°C, y con la tasa actual de emisiones de GEI los 1,5°C se alcanzarían entre el 2030 y el 2052; también pone en evidencia los impactos que se producirían en los ecosistemas, la salud humana y el bienestar al limitar los impactos que tendría un calentamiento de 1,5°C, comparado con 2°C sobre los niveles pre-industriales; y hace un llamado a la urgencia de aumentar la ambición. En esta dirección, para aumentar la ambición de la NDC de Chile, se invitó al Comité Científico formado en el contexto de la COP25, a entregar sus aportes, y de esta forma, recoger la visión del mundo científico chileno en materia de cambio climático.

Por otra parte, la participación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de Chile, en el total de emisiones a nivel mundial, es de aproximadamente 0,25% al 2016.<sup>4</sup> El promedio mundial de emisiones de CO<sub>2</sub> por persona, para ese mismo año, es de 4,4 tCO<sub>2</sub> y según los cálculos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI, 2016), Chile sobrepasa por muy poco esa cifra, con 4,7 tCO<sub>2</sub> por persona, y está muy por debajo del promedio de los países de la OCDE, que es de 9,2 tCO<sub>2</sub> por persona (Tercer IBA, 2018). Sin embargo, es importante notar que las emisiones del país se han incrementado en un 114,7% desde 1990 y en un 20,0% desde 2007. El principal GEI emitido en 2016 fue el CO<sub>2</sub> (78,7%), seguido del CH<sub>4</sub> (12,5 %), N<sub>2</sub>O (6 %), y los gases fluorados (2,8 %).

El Sector Energía (correspondiente al consumo de combustibles fósiles) es el principal emisor de GEI en nuestro país, representando el 78% de las emisiones totales en 2016, mayoritariamente por el consumo de carbón mineral para la generación eléctrica y diésel en el caso del transporte terrestre. El sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) es el único que absorbe GEI en el país, manteniéndose como sumidero en el registro de emisiones disponible desde 1990.

3. Panel Intergubernamental en Cambio Climático (en adelante IPCC, por sus siglas en inglés) IPCC, 2013, 2014.

4. Tercer Informe Bienal de Actualización (IBA3, MMA2016). <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-Spanish.pdf>

Respecto a los impactos observados y proyectados<sup>5</sup> asociados al cambio climático en nuestro país, la evidencia indica un aumento de las temperaturas en todo el territorio nacional, con mayor intensidad en la zona norte (1,5 °C - 2,0 °C por encima de la media histórica) y en las zonas cordilleranas del cordón de los Andes en comparación con las zonas costeras. En el caso de las precipitaciones, las tendencias muestran una disminución entre 2031 y 2050, lo que trae como consecuencia un clima más seco en comparación con la media histórica y que las áreas más afectadas serán las regiones entre Atacama y Los Lagos, las más productivas desde el punto de vista agrícola y con mayor concentración de población del país.<sup>6</sup>

Actualmente existen evidencias científicas que vinculan al menos un 25% de la sequía que ha experimentado el país desde el año 2009, la más extensa temporal y espacialmente registrada, con el cambio climático antropogénico.<sup>7</sup> Adicionalmente, se estudia la ocurrencia e intensidad de eventos extremos que también podrían ser atribuidos al cambio climático, tales como: inundaciones, remoción en masa generada por aluviones, la intensificación de los incendios forestales y marejadas, y la acidificación del océano. De esta forma, las características geográficas, climáticas, económicas y socioculturales del país son relevantes en la vulnerabilidad y exposición de Chile a los impactos del cambio climático.

Chile también presenta una alta diversidad cultural y social,<sup>8</sup> con un 12,8% de población indígena, un significativo aumento de población migrante, que pasó de 0,81% en 1992 a 4,35% en 2017, un 16,2% de adultos mayores, un 12,7% de personas con discapacidad y un 55,7% de mujeres. Asimismo, nuestra biodiversidad es también rica y diversa, destacando por su alto grado de endemismo, exclusividad y múltiples tipos de ecosistemas que cumplen funciones críticas para el mantenimiento de servicios ecosistémicos claves, tanto para Chile como para el resto del mundo.<sup>9</sup> La diversidad cultural, social y natural de nuestro país es una de sus riquezas más importantes, por lo que incorporar la diversidad en la toma de decisiones, incluir, cuando estén disponibles, los conocimientos de nuestras comunidades indígenas y locales, junto con preservar y restaurar nuestra biodiversidad y expandir las soluciones basadas en la naturaleza, son elementos que nos permitirán construir un Chile resiliente.

También son relevantes las municipalidades y las comunidades locales, dado que los territorios enfrentan directamente los impactos del cambio climático, en donde la capacidad de responder a dichos impactos se transforma en esencial para disminuir los daños y pérdidas que se pueden provocar por eventos extremos. Por lo tanto, fortalecer la capacidad de respuesta de la población y de las instituciones frente al desafío de enfrentar un futuro incierto y cambiante es una tarea fundamental del proceso de adaptación al cambio climático.

5. Tercer Informe Bienal de Actualización (IBA3, MMA2016).  
<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>

6. Tercer Informe Bienal de Actualización (IBA3, MMA2016).  
<https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>

7. <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>  
 8. INE, censo 2017.

9. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/6NR\\_FINAL\\_ALTA-web.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/6NR_FINAL_ALTA-web.pdf)





Fotografía de Gonzalo Iglesias

# 2

## **PILAR SOCIAL DE TRANSICIÓN JUSTA Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

para la actualización e  
implementación de la NDC de Chile

## 2.1 La actualización de la NDC de Chile en un contexto de desarrollo sostenible y transición justa

Chile registra importantes avances en su ruta hacia el desarrollo, los que se reflejan en indicadores internacionales y nacionales. Por ejemplo, de acuerdo con cifras del Banco Mundial, en 2018 Chile registró un Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, ajustado por poder de compra, de US\$25.222.<sup>10</sup> Además, ocupa el primer puesto a nivel regional, y el puesto 42 a nivel mundial, del ranking del Índice de Desarrollo Humano (IDH) de Naciones Unidas.<sup>11</sup> En materia de pobreza, los resultados de la encuesta CASEN 2017, indican que el porcentaje de personas bajo la línea de pobreza se redujo en Chile desde un 29,1% en 2006 a un 8,6% en el año 2017.

Sin embargo, si bien el porcentaje de población en situación de pobreza es menor al 10%, el indicador complementario de pobreza multidimensional alcanza un 20,7%. Es decir, aun considerando los avances, la transición de Chile hacia el desarrollo presenta importantes desafíos, que no son reflejados en los indicadores de bienestar basados en nivel de ingreso. En este sentido, el “Informe Nacional Voluntario”<sup>12</sup> de junio 2019, presentado por el Consejo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, reconoce los desafíos en materia de desigualdad, vivienda, género, educación y salud, entre otros.

La actualización de la NDC obedece a la ratificación adoptada por Chile del Acuerdo de París,<sup>13</sup> en el que se enfatiza la relación intrínseca que las acciones climáticas, sus respuestas e impactos tienen sobre el acceso equitativo al desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. En este sentido, la presente actualización también reconoce la necesidad de maximizar las sinergias<sup>14</sup> entre los compromisos climáticos con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS),<sup>15</sup> que, a través de sus 17 objetivos y 169 metas, busca lograr un desarrollo equilibrado e integrado en las dimensiones económica, social y ambiental, objetivos a los cuales Chile ha adherido y reporta a través del “Informe Nacional Voluntario” a Naciones Unidas.<sup>16</sup>

Dada la relevancia de poder alinear estas agendas es que se reconoce el Desarrollo Sostenible, a través de los ODS, como un enfoque transversal de esta NDC, estableciendo como cada uno de los compromisos de la NDC aporta al cumplimiento de los ODS. En este sentido, esta NDC utiliza la definición de desarrollo sostenible entregada por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD, 1987), entendido como:

10. The World Bank, <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?locations=CL>

11. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019). Informe sobre Desarrollo Humano 2019. [http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2019\\_overview\\_-\\_spanish.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019_overview_-_spanish.pdf)

12. <http://www.chileagenda2030.gob.cl/documentos/informes>

13. <https://www.leychile.cl/Navegar?id-Norma=1103158>

14. [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/22152Background\\_Paper\\_WRI\\_SDGNDC\\_Synergies\\_draft\\_25.03.28\\_1\\_.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/22152Background_Paper_WRI_SDGNDC_Synergies_draft_25.03.28_1_.pdf)

15. [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S)

16. [http://www.subtrab.trabajo.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/Informe-Nacional-Voluntario-Chile-2019-Agenda-20301\\_compressed-1.pdf](http://www.subtrab.trabajo.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/Informe-Nacional-Voluntario-Chile-2019-Agenda-20301_compressed-1.pdf)

El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, y equilibra los intereses sociales, económicos y medioambientales.

Complementariamente, una condición habilitante para la implementación de una NDC ambiciosa, alineada con las metas globales y nacionales, es la incorporación e integración del concepto de transición justa. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) desarrolló la guía "Directrices de política para una transición justa hacia economías y sociedades ambientalmente sostenibles para todos", donde se reconoce que una transición hacia una economía social y ambientalmente sostenible puede ser un importante motor para la creación de empleo decente, justicia social y erradicación de la pobreza.

En su esencia, la transición justa es un marco de futuro orientado hacia la acción que identifica oportunidades para la inversión pública y privada en un desarrollo económico tanto sostenible como inclusivo.<sup>17</sup> La transición justa se inspira en marcos globales consolidados en materia de cambio climático, derechos humanos, normas laborales y crecimiento inclusivo.

De acuerdo a la iniciativa de Naciones Unidas sobre Principios de Inversión Responsable (PRI, por sus siglas en inglés), el foco de este concepto se resume de la siguiente forma:

centra su atención en la necesidad de prever las repercusiones sociales del paso a una economía hipo carbónica (o de bajo carbono) y los impactos físicos cada vez mayores del cambio climático.

Los pilares transversales definidos previamente, buscan un desarrollo socioambiental sustentable, minimizando los posibles impactos negativos en los grupos más vulnerables y asegurando la igualdad de oportunidades en el proceso, sin dejar grupos marginados, que pudiesen verse afectados negativamente por políticas adoptadas para combatir el cambio climático. Esto es particularmente relevante en nuestro país, en el cual la evolución hacia la carbono neutralidad con una matriz de generación eléctrica, basada principalmente en energías renovables no convencionales, implicará que se deberán diseñar medidas que permitan una transición justa y equitativa que gestione adecuadamente los cambios en la fuerza de trabajo del sector.

17. "El cambio climático y la transición justa: Guía para la toma de decisiones de los inversores" <https://www.unpri.org/download?ac=6047>

## 2.2 Aplicación del pilar social de transición justa y desarrollo sostenible en la NDC de Chile

La NDC que se presenta se basa en el pilar social de transición justa y desarrollo sostenible. Para asegurar su adecuada implementación, serán considerados en el diseño, implementación y seguimiento de cada compromiso, los siguientes criterios:

**a) Sinergia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible:**

cada compromiso presentado deberá aportar al cumplimiento de uno o más de los objetivos de desarrollo sostenible contenidos en la Agenda 2030, los que se harán explícitos en cada componente y contribución específica, identificando claramente a que meta de los ODS contribuye.

**b) Transición justa:** particularmente enfocado en el proceso de descarbonización de la matriz de generación eléctrica, se deberán analizar las dificultades y necesidades de quienes son particularmente vulnerables, reconociendo, respetando y promoviendo las obligaciones relativas a una transición justa hacia una economía baja en carbono y resiliente al clima.

**c) Seguridad hídrica:** los instrumentos y medidas que deriven de la implementación de esta NDC deberán favorecer el acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, determinada en función de las realidades propias de cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas.

**d) Equidad e igualdad de género:** el diseño y la implementación de esta NDC deberá considerar una justa asignación de cargas, costos y beneficios, con enfoque de género y especial énfasis en sectores, comunidades y ecosistemas vulnerables al cambio climático.

**e) Costo-eficiencia:** el diseño y la implementación de esta NDC, priorizará aquellas medidas que, siendo eficaces para la mitigación y adaptación al cambio climático, sean las que representen los menores costos económicos, ambientales y sociales, considerando en su análisis escenarios de corto, mediano y largo plazo.

18. IUCN, 2016  
[https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_EN.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf)

**f) Soluciones basadas en la naturaleza (SbN):** los instrumentos y medidas que deriven de la implementación de esta NDC favorecerán la aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), entendidas como acciones que busquen proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que aborden los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad.<sup>18</sup>

**g) Consideración de tipos de conocimientos:** el diseño de instrumentos y medidas que deriven de la implementación de esta NDC se realizará sobre la base de la mejor evidencia científica disponible, y analizará los conocimientos tradicionales, de los pueblos indígenas y de los sistemas de conocimientos locales, cuando estén disponibles.

h) Participación activa: el diseño de instrumentos y medidas que deriven de la implementación de esta NDC, considerará el involucramiento activo de la ciudadanía, a través de los mecanismos de participación establecidos por cada órgano de la Administración del Estado, y en aquellos expresamente señalados por la ley N° 20.500. Adicionalmente, se establecerán mecanismos complementarios a aquellos establecidos por la ley, que permitan profundizar la participación de la ciudadanía.

En el siguiente esquema se presentan los componentes y la estructura de esta NDC y el pilar social de transición justa y desarrollo sostenible.



## 2.3 Compromisos en la aplicación del pilar social para la actualización e implementación de la NDC

### Contribución en Transición Justa y Desarrollo Sostenible N°1-2-3 (PS1-2-3)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>PS1)</b> Velar por la aplicación de los criterios señalados en el numeral 3.2 en los procesos de actualización, formulación e implementación de las NDC.</p> <p><b>PS2)</b> Establecer un mecanismo de medición, reporte y verificación respecto de la aplicación de los criterios señalados en el numeral 3.2.</p> <p><b>PS3)</b> Elaborar al 2021 una "Estrategia para la Transición Justa", que resguarde los derechos de los más vulnerables en el proceso de descarbonización de la matriz energética y que cuente con participación ciudadana activa en su diseño e implementación.</p>	<p>1 FIN DE LA POBREZA</p> <p>8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO</p> <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>



# 3

## COMPONENTE DE MITIGACIÓN



---

## 3.1 Contexto

---

El Acuerdo de París (AP), en materia de mitigación, establece el siguiente objetivo de largo plazo: “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C” (artículo 2.1.a). Para responder a este objetivo, el Acuerdo, en su artículo 4.1, solicita a las Partes, con mayor flexibilidad para las Partes que son países en desarrollo:

1. Alcanzar un punto máximo o peak de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) lo antes posible; y
2. Lograr un equilibrio entre emisiones y capturas después del año 2050.

Para avanzar hacia estos objetivos, el Acuerdo establece que las Partes deben presentar, cada cinco años, sus contribuciones y medidas de mitigación a través de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (artículos 4.2 y 4.9). Además, señala que los países deberían esforzarse por formular y comunicar estrategias a largo plazo para un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (artículo 4.19).

La NDC sucesiva de cada país representará una progresión con respecto a la NDC vigente y reflejará la mayor ambición posible teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales (Artículo 4.3).

El Acuerdo solicita a los países actualizar o presentar nuevas NDC en 2020, manteniendo el plazo de implementación original de 2025 o 2030, según corresponda (Decisión 1/CP.21, párrafos 23 y 24).

En la COP25 (Decisión 1/CMA.2 párrafos 5, 6 y 7), las Partes recalcaron con grave preocupación la necesidad urgente de fortalecer los compromisos de mitigación considerando la gran brecha que han evidenciado los informes del IPCC respecto a las NDC actuales y el objetivo de limitar el aumento de temperatura en 1,5°C, y se reiteró el llamado a actualizar con la ambición más alta posible las actuales NDC, considerando las responsabilidades comunes pero diferenciadas, a la luz de las circunstancias nacionales.

### 3.2 Visión a largo plazo en materia de mitigación: neutralidad de GEI al 2050

19. "La neutralidad de GEI se logra cuando las emisiones son iguales o menores a las capturas." - Definición descrita en la Propuesta de Ley Marco de Cambio Climático ingresada al Congreso en enero 2020.

20. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/2018\\_NIR\\_CL.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/2018_NIR_CL.pdf)

Las metas cuantitativas que presenta esta NDC son parte de un análisis mayor, en el que Chile buscará una trayectoria que le permita alcanzar la neutralidad de GEI<sup>19</sup> al 2050, tal como se ha establecido en el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático que actualmente se encuentra en discusión en el Congreso Nacional. De esta manera, esta contribución, y sus consecutivas iteraciones, serán hitos intermedios para el cumplimiento de la meta de neutralidad al 2050, por lo cual su diseño está en línea con las necesidades que se requieren para alcanzarla.

La neutralidad al 2050 es una visión y meta del país, no sólo desde el punto de vista climático, sino que tiene implicancias económicas, sociales y ambientales, por lo que se requieren esfuerzos de todos los sectores para poder materializarla, y así disminuir los impactos del cambio climático.

Se debe entender esta visión a largo plazo como el trabajo de Chile en dos líneas de acción que son igualmente relevantes: i) conseguir una disminución sostenida de emisiones de GEI; y ii) aumentar y mantener los sumideros naturales de carbono.

Con respecto a la disminución de emisiones, se requerirá de un esfuerzo multisectorial en la aplicación de políticas y medidas que permitan la reducción efectiva y permanente de las emisiones de GEI de Chile en el tiempo. En relación a las capturas, el país deberá trabajar en la aprobación de instrumentos de gestión que permitan proteger, mantener e incrementar los sumideros naturales de carbono, considerando además los múltiples servicios ecosistémicos que proveen (conservación y protección de la biodiversidad, de recursos hídricos, de ecosistemas, disminución de impactos por desastres naturales, entre otros). Por lo tanto, este compromiso incluye, dentro del componente de integración, una meta específica del sector UTCUTS que toma en cuenta su rol para la neutralidad y para la adaptación a los impactos del cambio climático (ver componente de integración).

La evidencia recolectada en el Informe Especial del IPCC sobre Calentamiento Global de 1,5°C apunta a la necesidad de avanzar a una economía baja en carbono y resiliente al clima, lo que implica que las Partes reduzcan sus emisiones aceleradamente durante la próxima década.

Para el caso de Chile, de acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de GEI<sup>20</sup>, y de proyecciones basadas en el mismo, se estima que las acciones analizadas permitirían alcanzar del orden de un 30% de reducción del balance de GEI del 2030 con respecto al

2016. Además, bajo ciertas condiciones habilitantes (financieras, mercados, tecnológicas y políticas) se proyecta que Chile puede llegar más allá del 30%, apuntando a un potencial de hasta un 45% de reducción de emisiones netas al 2030, es decir, considerando acciones de mitigación y/o capturas de emisiones de gases de efecto invernadero.

### 3.3 Contribución en materia de mitigación

Esta actualización considera un aumento de ambición en el compromiso de Chile para alcanzar el objetivo del Acuerdo de París, en línea además con una trayectoria hacia la neutralidad de GEI al 2050. Este aumento de ambición es coherente con lo promovido y resaltado por el país durante la COP25, lo que se ve reflejado por las Partes a través de la decisión 1/CP.25.

Considerando los requerimientos sobre transparencia en la presentación de las metas incorporadas en las NDC, a partir del Marco Reforzado de Transparencia y las directrices emanadas de la COP24 de Polonia, junto con el análisis del indicador actual de la NDC, y la revisión sobre diferentes tipos de NDC a nivel internacional, se presenta la siguiente meta de mitigación de niveles de emisión, sin incluir al sector UTCUTS.

#### Contribución en Mitigación N°1 (M1)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>M1)</b> Chile se compromete a un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1.100 MtCO<sub>2</sub>eq, entre el 2020 y 2030, con un máximo de emisiones (peak) de GEI al 2025, y a alcanzar un nivel de emisiones de GEI de 95 MtCO<sub>2</sub>eq en 2030.</p>	

Chile reconoce que el Artículo 6 del Acuerdo de París, es un mecanismo que puede permitir a los países implementar acciones de mitigación de manera costo-efectiva, así como adelantar la implementación de nuevas tecnologías, a través de la colaboración voluntaria con otras partes, por ejemplo, a través de la transferencia internacional de resultados de mitigación. Asimismo, es el único artículo que posibilita y/o promueve la participación del sector privado, clave para aumentar la ambición.

Por ello, a nivel nacional, en 2020 se conformará una mesa público-privada para determinar una política específica para el uso de mercados, teniendo en consideración guías claras que preserven la integridad ambiental, eviten la doble contabilidad y fomenten el desarrollo sostenible.

### 3.4 Trabajo de Chile en contaminantes de vida corta

Chile reconoce que las acciones para mitigar los contaminantes climáticos de vida corta, son un aporte para limitar el aumento de temperatura media global y que para esto deben trabajarse en coherencia con los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI. Reducir las emisiones de carbono negro, uno de los principales contaminantes de vida corta, que, a nivel local, genera una serie de co-beneficios importantes en materia de mejoras de la calidad del aire disminuyendo los impactos en la salud de las personas (enfermedades respiratorias) y los costos asociados a estos impactos en salud.

El carbono negro, que pertenece a los contaminantes climáticos de vida corta, es parte significativa del material particulado (MP2,5) medido en las ciudades chilenas. Las principales fuentes de carbono negro en Chile provienen del consumo de diésel para transporte terrestre, del uso de leña para calefacción y cocina residencial, y del uso de biomasa como energético en el sector industrial. La calidad del aire constituye una prioridad nacional en la gestión ambiental, por lo cual se están implementando diversas acciones, entre ellas: nuevos planes de descontaminación atmosférica; regulaciones aplicadas al sistema de transporte público y privado; trabajo con las comunidades para mejorar la eficiencia energética de los hogares; y establecimiento de normas de calidad y emisión para las principales fuentes industriales emisoras de contaminantes.

En este contexto, Chile se compromete a:

### Contribución en Mitigación N°2 (M2)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>M2)</b> Una reducción de al menos un 25% de las emisiones totales de carbono negro al 2030, con respecto al 2016. Este compromiso se implementará principalmente a través de las políticas nacionales asociadas a calidad del aire. Además, será monitoreado a través de un trabajo permanente y periódico en la mejora de la información del inventario de carbono negro.</p>	 <p>3 SALUD Y BIENESTAR</p> <p>11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES</p> <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>



# 4

## COMPONENTE DE ADAPTACIÓN



---

## 4.1 Contexto

---

Uno de los objetivos del Acuerdo de París, señalado en su artículo 2, es poder aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de GEI.

Por otra parte, el artículo 7, junto con establecer una meta global de adaptación, reconoce que la necesidad actual de adaptación es considerable, y que un menor nivel de mitigación aumentará la necesidad de esfuerzos adicionales de adaptación, lo que puede entrañar mayores costos.

A su vez, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) confirmó en su Quinto Reporte (2013, 2014) que la influencia humana en el sistema climático es inequívoca y va en aumento, y que sus impactos se observan en todos los continentes y océanos.

En este contexto, Chile reconoce la relevancia de los procesos de adaptación para fortalecer la resiliencia del país a los impactos del cambio climático, avanzando de manera consistente en la planificación e implementación de acciones de adaptación en las distintas políticas e instrumentos de cambio climático, tanto a escala nacional como subnacional. A través de estos instrumentos, se materializan las acciones concertadas que permitirán proteger a las personas y sus derechos, los medios de vida y los ecosistemas, teniendo en cuenta las necesidades urgentes e inmediatas identificadas en cada sector, a escala nacional y sub-nacional.

Los impactos del cambio climático ocurren fundamentalmente en los territorios, por lo que Chile también reconoce la importancia del fortalecimiento de capacidades y la formación de una gobernanza multi-nivel para fortalecer la resiliencia de las comunidades y los territorios locales. Por lo mismo, se ha establecido un sistema de gobernanza multi-nivel, incluyendo la conformación de Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC), quienes deben realizar esfuerzos de planificación e implementación de acciones en respuesta al cambio climático, en estrecha colaboración con el nivel central, las municipalidades, y otros actores no-estatales y sub-nacionales. Además, se está avanzando en el desarrollo de Planes de Acción Regionales de Cambio Climático en cuatro regiones del país como experiencia piloto.

La adaptación es un proceso dinámico que abarca aspectos esenciales del desarrollo país, y, por lo tanto, debe considerar una cooperación y coordinación intersectorial y multi-dimensional que dé cuenta de la complejidad del desafío. De acuerdo a lo que esta NDC ha establecido en su pilar social, el país reconoce la necesidad de vincular el desarrollo económico, social y ambiental de Chile con las acciones climáticas, y desde este punto de vista, los compromisos que se presentan a continuación aportan directamente al cumplimiento de los Objetivos Desarrollo Sostenible (ODS).

## 4.2 Contribución en materia de adaptación

Chile contribuirá a la meta global de adaptación, reduciendo la vulnerabilidad, fortaleciendo la resiliencia y aumentando la capacidad de adaptación del país, especialmente, incrementando la seguridad hídrica y considerando soluciones basadas en la naturaleza. Esto, para así proteger a las personas, los medios de vida y los ecosistemas, teniendo en cuenta las necesidades urgentes e inmediatas del país, en base a la mejor ciencia disponible.

La contribución de Chile en materia de adaptación se estructura en dos partes: i) Políticas, estrategias y planes de cambio climático, y ii) Áreas de mayor urgencia en la acción climática en materia de adaptación. A continuación, se presentan los compromisos para cada una de ellas.

### 4.2.1 Políticas, estrategias y planes de cambio climático

#### Contribución en Adaptación N°1 (A1)

ODS	CONTRIBUCIÓN
	<p><b>A1)</b> Al 2021 se habrá definido el objetivo, alcance, metas y los elementos que conformarán el componente de adaptación en la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile, realizando un proceso participativo en el que se incorporará a diversos actores en distintas escalas territoriales.</p>

#### Contribución en Adaptación N°2 (A2)

ODS	CONTRIBUCIÓN
	<p><b>A2)</b> Se fortalecerá la coordinación de la acción climática en adaptación a escala nacional, a través del plan nacional de adaptación, y de planes de adaptación para 11 sectores priorizados, incorporando los aprendizajes logrados en la implementación de los primeros planes. Estos serán insumos para la Comunicación de Adaptación, que será enviada a más tardar el 2022 a la CMNUCC.</p>

#### Se desarrollarán los planes de acuerdo al siguiente cronograma:

- a) 2022: Se habrá actualizado y comenzado a implementar el Plan Nacional de Adaptación.
- b) 2022: Se habrán elaborado y comenzado a implementar los primeros Planes de Adaptación para los sectores: recursos hídricos; borde costero; y minería.
- c) 2021-2028: Se habrán actualizado y comenzado a implementar los Planes de Adaptación para los sectores Silvoagropecuario (Actualizaciones: 2021 y 2026); Biodiversidad (Actualizaciones 2022 y 2027); Pesca y Acuicultura (Actualizaciones 2022 y 2027); Salud (Actualizaciones 2022 y 2027); Infraestructura (Actualizaciones 2023 y 2028); Energía (Actualizaciones 2023 y 2028); Ciudades (Actualizaciones 2023 y 2028); Turismo (Actualización 2026); Recursos hídricos (Actualización 2027); Borde Costero (Actualización 2027); y Minería (Actualización 2027).

#### Contribución en Adaptación N°3 (A3)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>A3)</b> Al 2025, se habrán fortalecido las capacidades y la institucionalidad de cambio climático a nivel regional y se habrá iniciado la implementación de acciones de adaptación, mitigación y los medios de implementación necesarios, a través de los planes de acción regionales de cambio climático en 10 regiones del país, y al 2030 las 16 regiones del país contarán con dicho instrumento.</p>	

#### Contribución en Adaptación N°4 (A4)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>A4)</b> Durante el periodo de implementación de esta NDC, se profundizarán y actualizarán los estudios y análisis existentes de vulnerabilidad y riesgos del país, considerando el enfoque de género, para abordar las amenazas, los que deberán ser considerados como insumos bases para el diseño de medidas de adaptación.</p>	 

**En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:**

- a) Al 2021 se habrá elaborado una plataforma de mapa de riesgos climáticos para Chile continental, a nivel comunal.
- b) Al 2021 se realizará una estimación de costos de la inacción asociados al cambio climático, y al 2025, se realizará una estimación de costos por pérdidas y daños históricos en esta misma línea.
- c) Al 2025 se habrán realizado evaluaciones de riesgo al cambio climático para grupos vulnerables del país, con especial atención en pueblos originarios, pobreza y género.

**Contribución en Adaptación N°5 (A5)**

ODS	CONTRIBUCIÓN
	<p><b>A5)</b> Al 2026 se habrá fortalecido el sistema de evaluación y monitoreo vigente, a través de indicadores de progreso e impacto para todos los instrumentos de adaptación al cambio climático, que permita evaluar el avance y cumplimiento de las metas establecidas.</p>

**Contribución en Adaptación N°6 (A6)**

ODS	CONTRIBUCIÓN
	<p><b>A6)</b> Durante el periodo de implementación de esta NDC, se fortalecerá la inclusión de actores no gubernamentales en la planificación e implementación de instrumentos de adaptación.</p>

**En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:**

- a) Al 2025 se implementará y alimentará un registro de acciones de adaptación de actores no gubernamentales.
- b) Al 2030 se encontrarán en implementación mecanismos de cooperación público-privado que permitan la ejecución de acciones de adaptación, a escala nacional y territorial.

**4.2.2 Áreas de mayor urgencia en la acción climática en materia de adaptación**

**Contribución en Adaptación N°7 (A7)**

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>A7)</b> Se aumentará la información y mecanismos de gestión del país respecto de los impactos del cambio climático en recursos hídricos, para aumentar su resiliencia.</p>	

**En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:**

- a) Al 2025 se habrá implementado un indicador, a nivel nacional y a escala de cuenca hidrográfica, que permita hacer seguimiento de la brecha y riesgo hídrico y avanzar en alcanzar la seguridad hídrica del país.
- b) Al 2025 se habrá implementado un sistema de sellos de reconocimiento según el nivel de gestión del consumo de agua a nivel organizacional, a través del programa Huella Chile.
- c) Al 2030 se habrán elaborado Planes Estratégicos de Cuenca para Gestión de Recursos Hídricos, considerando la adaptación al cambio climático, en las 101 cuencas del país.
- d) Al 2030 se habrán fiscalizado un 95% de los Sistemas Sanitarios Rurales catastrados, asegurando los estándares de calidad de los servicios de agua potable rural.
- e) Al 2030, el 100% de las empresas sanitarias tendrán implementado un plan para la gestión de riesgo de desastres, incluyendo aquellos derivados del cambio climático.
- f) Al 2030, se habrán completado el 100% de las metas de la Agenda 2030 del sector sanitario.<sup>21</sup>
- g) Al 2030, cada proyecto de infraestructura pública para aguas contemplará, en su evaluación, la condición de proteger a la población y territorio (mediante obras fluviales) y/o atender en forma prioritaria las demandas asociadas al consumo humano urbano y/o rural, en su área de influencia.
- h) Al 2030, se reducirá al menos en un 25% las pérdidas de agua por concepto del volumen de aguas no facturadas de los sistemas sanitarios.

	
---	---

21. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

## Contribución en Adaptación N°8 (A8)

ODS	CONTRIBUCIÓN
 	<p><b>A8)</b> Se fortalecerá la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima, y la capacidad de gestión ante los efectos adversos que causan los desastres socio-naturales en el país.</p> <p><b>En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>a)</b> Al 2021, se habrá desarrollado una guía con lineamientos acerca del efecto del cambio climático en el fenómeno de movilidad humana en Chile en consonancia con los instrumentos internacionales afines.</li> <li><b>b)</b> Al 2022, se habrá elaborado un plan nacional específico por variable de riesgo de olas de calor a nivel nacional, a través del trabajo intersectorial de la mesa por variable de Riesgo Meteorológico.</li> <li><b>c)</b> Al 2025, todas las regiones del país habrán incorporado acciones de adaptación al Cambio Climático en los Planes Regionales de Reducción del Riesgo de Desastres, en coordinación con los Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC).</li> <li><b>d)</b> Al 2030, se habrá completado la implementación de la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2019-2030, la que se ha armonizado al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, el Acuerdo de París y a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Adicionalmente, se contempla una revisión estratégica del instrumento al 2023.</li> </ul>



# 5

## COMPONENTE DE INTEGRACIÓN

---

## Componente de Integración

---

La adaptación y la mitigación deben ser consideradas como estrategias complementarias para reducir y gestionar los riesgos del cambio climático, en el desarrollo de políticas públicas. Reducciones sustanciales de emisiones de gases de efecto invernadero en las próximas décadas, pueden reducir los riesgos climáticos a futuro, y, de esta forma, aumentar las posibilidades de una adaptación efectiva, reducir los costos y los desafíos de la mitigación a largo plazo y contribuir a vías resilientes al clima para el desarrollo sostenible.<sup>22</sup>

22. [https://ar5-syr.ipcc.ch/topic\\_pathways.php](https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_pathways.php)

Para efectos de abordar materias asociadas a cambio climático cuyas características responden a un enfoque de integración, es decir, que persiguen objetivos tanto de mitigación como de adaptación, se ha incorporado la presente sección que considera este tipo de medidas. En ésta se incluyen compromisos en materia de economía circular, uso de tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), y de océano. Estas son líneas de trabajo prioritarias para el país, por lo tanto, se han relevado en la presente actualización de la NDC.

Este inédito componente busca relevar las sinergias entre mitigación y adaptación para enfrentar el cambio climático, estableciendo compromisos a ser implementados en el período 2020-2030, cuyo desarrollo deberá ser armonizado con las necesidades y requerimientos que presenta la actual pandemia de COVID19, resultando en eventuales ajustes en la ejecución de la NDC en relación con las prioridades sociales, ambientales y económicas que deba tomar el país.

---

### 5.1 Economía circular

---

#### 5.1.1 Contexto

---

La economía circular (EC) busca transitar desde un modelo económico lineal, de extraer-usar-desechar, hacia un modelo circular, que utiliza y optimiza los stocks y flujos de materiales, energía y residuos. Su objetivo es la eficiencia en el uso de los recursos, buscando la prolongación de la vida útil de los productos, priorizando el uso de energías renovables no convencionales (ERNC). Su implementación generará beneficios, en especial frente a un escenario

23. WRAP (2015), *Economic Growth Potential of More Circular Economies*, <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Economic%20growth%20potential%20of%20more%20circular%20economies.pdf>.

de recursos limitados y necesidades crecientes. En lugar de extraer recursos naturales, la economía circular propone que los materiales que ya han sido procesados puedan ser recuperados y reutilizados, manteniéndolos en circulación durante el mayor tiempo posible, y en consecuencia, reduciendo el nivel de emisiones de GEI, junto con disminuir la presión sobre los ecosistemas.

Complementariamente, y en línea con la transición justa hacia una economía resiliente y baja en emisiones, la economía circular crea valor económico con más mano de obra, de acuerdo a un estudio del Waste and Resources Action Programme (WRAP), el que menciona que cambiar a un sistema de EC podría crear hasta 3 millones adicionales de empleos en Europa para 2030.<sup>23</sup>

Chile está en una excelente posición para liderar este camino. Ha dado sus primeros pasos a través de la legislación con la Ley N°20.920 que considera la Responsabilidad Extendida del Productor, así como también, por medio de incentivos a proyectos de innovación con este foco y la creación de empleos a partir de nuevos mercados por la gestión de productos prioritarios, además de ser una oportunidad para la plena incorporación de recicladores de base a la economía, elevando sus estándares laborales y de vida. Por otro lado, hoy se observa un incipiente movimiento desde las empresas, lo que se ve reflejado en una alta participación de empresas adheridas a Acuerdos de Producción Limpia (APL), como también, la postulación de proyectos a las convocatorias de CORFO para economía circular.

### 5.1.2 Contribución en materia de economía circular

Chile se compromete a:

#### Contribución en Integración - Economía Circular N°1 (I1)

ODS		CONTRIBUCIÓN
		<b>I1)</b> Desarrollar, en 2020, una Hoja de Ruta de Economía Circular 2020 a 2040, consensuada a nivel nacional, que tendrá por objetivo la transición hacia una economía circular con medidas de corto, mediano y largo plazo con miras al 2040.

#### Contribución en Integración - Economía Circular N°2 (I2)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<b>I2)</b> Desarrollar, en 2020, una Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, orientada a aumentar la valorización de este tipo de residuos generados a nivel municipal, reincorporando los nutrientes, material orgánico o sustratos contenidos en ellos al proceso productivo, contribuyendo de esta forma tanto a la adaptación como a la mitigación del cambio climático.	 

#### Contribución en Integración - Economía Circular N°3 (I3)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<b>I3)</b> Generar e implementar, al 2022, métricas e indicadores de circularidad, para monitorear los avances del país en materia de economía circular e identificar su contribución a la mitigación y adaptación del cambio climático.	 

## 5.2 Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)

### 5.2.1 Contexto

La capacidad de captura de carbono de los ecosistemas terrestres cumple un rol de primer orden en la contención del aumento de la temperatura media del planeta. Tan relevante como reducir las emisiones liberadas en la atmósfera, es retirar aquellas previamente emitidas. Sólo cuando la captura de gases de efecto de invernadero comience a ser mayor a las emisiones en un mismo periodo, y estas emisiones sean secuestradas (permanentemente), entonces comenzará el proceso de revertir las condiciones que incrementan el cambio climático y sus impactos.

En la mayoría de los casos, las acciones del sector traen consigo otros impactos paralelos a la mitigación, los cuales deben ser considerados y evaluados para tener una visión integral de cada acción de mitigación. Los efectos derivados de estas acciones contribuyen directamente a los esfuerzos que requiere el adaptarse al cambio climático.

Cada una de estas acciones representa una opción viable mediante la cual se pueda proponer una acción climática integrada de mitigación y adaptación, que por un lado abrace los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como motor de principios y lineamientos de desarrollo, y además sea capaz de resguardar de las vulnerabilidades a las que se enfrenta el territorio, producto de los impactos del cambio climático en el país.

A continuación, se presentan las contribuciones del sector.

### 5.2.2 Contribución en materia de UTCUTS

#### 5.2.2.1 Bosques

Los ecosistemas boscosos tienen la capacidad de capturar y secuestrar grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, a través de la acumulación de biomasa aérea y subterránea, y el depósito de materia orgánica acumulada en el suelo. Si bien, el secuestro de emisiones de bos-

ques es una de las funciones con las que estos fortalecen la respuesta a los impactos del cambio climático, es importante reconocer que no es la única acción climática que ofrecen, ya que proveen otros tipos de servicios beneficiosos tanto para la adaptación al cambio climático como también para el cumplimiento de los ODS.

Una de las relaciones más directas se refiere al ODS 15, que establece “gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”. Además, los bosques están íntimamente ligados a los ejes transversales de esta contribución en materia de adaptación: i) Seguridad hídrica; ii) Reducción de riesgos de desastres; iii) Inclusión de grupos vulnerables, con especial foco en género; y iv) Soluciones basadas en la naturaleza.

Uno de los efectos más exacerbados por el cambio climático es la ocurrencia de incendios forestales y su magnitud. Enfrentar esta dinámica es justamente otro de los desafíos importantes de la componente de mitigación y adaptación, tanto a nivel nacional como internacional. En este escenario, se deben minimizar las condiciones para la ocurrencia y propagación de incendios. Fortalecer un manejo sostenible de los bosques permite disminuir la superficie afectada por estos eventos catastróficos, pero también se debe prevenir el desarrollo de condiciones que potencien la vulnerabilidad de un ecosistema.

La mitigación de daños, y la reducción de deslizamiento de tierras son otros de los múltiples roles que los bosques tienen en la reducción de desastres naturales, pero también prestan un servicio de gran importancia en la preservación de la biodiversidad, la cual se ve altamente amenazada por los efectos del cambio climático, lo que confirma que el respeto y el cuidado por el desarrollo ecológico de estos ecosistemas es pilar trascendental para cumplir con las metas del ODS 13 y 15.

El aumento de ecosistemas boscosos tiene una relación directa con el bienestar de las personas (salud, identidad, espiritualidad, equilibrio emocional), así también trae consigo beneficios culturales y de turismo; por el contrario, la disminución de estos provoca un impacto negativo en comunidades vulnerables, como pueblos indígenas que habitan en distintas áreas naturales del país.

En este contexto, cabe destacar que el Ministerio de Agricultura (MINAGRI), a través de La Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha trabajado desde el año 2013 en la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV), la cual es un instrumento de política pública, validado por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, que cuenta con diversas medidas de acción directas y facilitadoras que, con base a un proceso de formulación técnico y participativo de carácter nacional, se centran en enfrentar el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía (DDTS), mediante una adecuada gestión de los recursos vegetacionales con la finalidad de evitar o disminuir las tasas históricas de deforestación, devegetación y

degradación de bosques nativos, formaciones xerofíticas y otros recursos vegetacionales, así como también fomentando la recuperación, forestación, revegetación y manejo sustentable de éstos recursos nativos de Chile.

Esta estrategia corresponde a una de las principales herramientas para el cumplimiento de las distintas metas de mitigación asociadas al sector UTCUTS, además de normativas e instrumentos que entregan incentivos para los propietarios de bosques para su conservación o la creación de nuevos bosques.

Las consideraciones generales de estos compromisos, corresponden a:

1. El compromiso de Chile podrá considerar el financiamiento por parte del Estado, así como los mecanismos para implementarlo, es decir, un(os) instrumento(s) de política pública que contengan los incentivos económicos pertinentes para que los propietarios forestales se interesen en participar en los distintos programas.

2. Las metas propuestas considerarán la integración del enfoque de género, permitiendo el desarrollo de iniciativas más transparentes, inclusivas y dirigidas a disminuir y/o erradicar las brechas de género existentes. Se reconoce el rol de las mujeres como "agentes de cambio", capaces de hacer contribuciones significativas a la acción climática.

**Sobre esta base y en consistencia con los ODS, Chile compromete su contribución con las siguientes medidas:**

### Contribución en Integración - UTCUTS - Bosques Nº4 (I4)

ODS	CONTRIBUCIÓN
	<p>14) Chile se compromete al manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosques nativos, representando capturas de GEI en alrededor de 0,9 a 1,2 MtCO<sub>2</sub>eq anuales, al año 2030.</p>

**El plan de manejo a implementar considerará los siguientes criterios de sustentabilidad:**

a) Que se planificarán actividades a largo plazo, que permitan garantizar la conservación del bosque (permanencia).

b) Que se aplicarán parámetros mínimos de rendimiento sostenido, que garanticen que las extracciones no superen el crecimiento del bosque.

### Contribución en Integración - UTCUTS - Bosques Nº5 (I5)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p>15) Chile se compromete a forestar 200.000 hectáreas, de las cuales al menos 100.000 hectáreas corresponden a cubierta forestal permanente, con al menos 70.000 hectáreas con especies nativas. La recuperación y forestación se realizará en suelos de aptitud preferentemente forestal y/o en áreas prioritarias de conservación, que representarán capturas de entre 3,0 a 3,4 MtCO<sub>2</sub>eq anuales al 2030.</p>	

**Las condiciones que la forestación debe cumplir para relevar los beneficios en adaptación al cambio climático de esta medida son:<sup>24</sup>**

a) Promover la utilización de especies nativas, considerando en su elección y manejo de acuerdo a las condiciones ambientales adecuadas.

b) En el contexto del cumplimiento de la Ley 20.283 sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, y bajo la consideración que estas forestaciones se realizarán en suelos desprovistos de vegetación, no se considera la sustitución de bosques nativos.

c) Realizarse en suelos de aptitud preferentemente forestal<sup>25</sup> y/o en áreas prioritarias de conservación,<sup>26</sup> considerando suelos degradados con procesos erosivos activos, riesgos de remoción en masa producto de la erosión y no aptos para fines de cultivos. En este contexto se deberán priorizar:

- Áreas en las que la forestación contribuya a la conservación y protección de suelos, humedales, cabeceras de cuenca, cursos y cuerpos de aguas. Para los efectos de la NDC, los proyectos de forestación se focalizarán en los siguientes aspectos:

i) Promueve la utilización de especies nativas, considerando su elección y manejo de acuerdo a las condiciones ambientales adecuadas.

ii) Considera el uso de especies pioneras de gran amplitud ambiental, que mejoran las condiciones de los sitios para el establecimiento posterior de otras especies más exigentes para su establecimiento.

24. Estas condiciones son algunas de las definidas en el programa de forestación y revegetación en comunas priorizadas (MT.4.) de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) de CONAF.

25. Terrenos de aptitud preferentemente forestal: Todos aquellos terrenos que por las condiciones de clima y suelo no deban ararse en forma permanente, estén cubiertos o no de vegetación, excluyendo los que sin sufrir degradación puedan ser utilizados en agricultura, fruticultura o ganadería intensiva (Artículo 2. Decreto Ley Nº 2565, De 1979, Del Ministerio De Agricultura Que Sustituye Decreto Ley 701, De 1974).

26. Áreas prioritarias para la conservación: área de valor ecológico, identificado por su aporte a la representatividad ecosistémica, su singularidad ecológica o por constituir hábitats de especies amenazadas, priorizada para la conservación.

**iii)** Privilegia el establecimiento de bosques mixtos (más de una especie), ya sea con especies nativas, exóticas o una combinación de ambas, con distintas rotaciones para proveer una cobertura permanente y mantener constante la provisión de servicios ecosistémicos (protección de suelos, agua, fauna, valor paisajístico, entre otros), y de este modo, evitar o minimizar el uso de la tala rasa como método de corta final.

**iv)** Incorpora la utilización de especies arbustivas como alternativa, las que permiten incorporar zonas con condiciones más extremas (desiertos, laderas de exposiciones norte, zonas con fuertes vientos, entre otras) a los objetivos antes descritos.

**v)** Utilizan plantaciones con menores densidades y/o con raleos más tempranos para generar mayor sanidad de los árboles y disminuir la competencia por agua.

**vi)** Incluyen especies no autóctonas con mayor tolerancia a cambios de temperatura y régimen de humedad, especialmente en áreas degradadas que no permiten un establecimiento con las especies autóctonas.

**vii)** Considerando siempre en la selección de especies y su manejo, las condiciones sociales, ambientales y productivas actuales y proyectadas.

**viii)** Modifican técnicas y esquemas de manejo silvícola que facilitan: la mantención de cobertura continua, aseguran las funciones de protección, la retención e incorporación de materia orgánica en el suelo, la incorporación de métodos de regeneración natural, la provisión de servicios ambientales, entre otras.

**ix)** Favorecen las reforestaciones con métodos mixtos, es decir, que a la plantación se le adiciona la regeneración natural por semillas para fortalecer la variabilidad genética.

**x)** Incentiva las rotaciones más largas, optimizando la tasa de captura de carbono, su cantidad y tiempo secuestrado.

**xi)** Fomentan el desarrollo de nuevos usos para los productos maderables, que mantengan secuestrado el carbono retenido.

**xii)** Contribuirán a la ordenación y restauración de los paisajes forestales, propiciando una distribución en mosaicos que permite: aumentar el valor paisajístico de los territorios; generar y mantener corredores biológicos; mejorar las medidas de prevención, presión y combate de incendios forestales; entre otras funciones.

**xiii)** Se considerarán variables sociales, ambientales y económicas que permitan el desarrollo de economías locales y aumentar el bienestar de los pequeños y medianos propietarios forestales.

En este contexto, el reporte de las forestaciones será realizado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y reportadas bienalmente al Congreso Nacional de Chile y al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.

De esta forma, se compromete la forestación con un enfoque distinto a las antiguas plantaciones forestales conocidas hasta hoy en nuestro país, las que fueron creadas bajo contextos ambientales, sociales y económicos distintos al que se plantea actualmente a la sociedad. Los bosques plantados cumplirán nuevos objetivos y estándares, complementando su rol productivo, para pasar a proporcionar servicios y funciones ecosistémicas de mayor alcance a escala local, nacional y global. En particular, deberán cumplir un rol ineludible en la mitigación y adaptación a este fenómeno, como uno de sus principales ejes, ante los nuevos escenarios de cambio climático y sus efectos.

Bajo este enfoque, los nuevos bosques plantados no solo se limitarán a hacer frente al cambio climático, sino que cumplirán numerosos objetivos complementarios: prestación de servicios ambientales; protección del suelo; mejora de la regulación hídrica de las cuencas; producción de bienes madereros y no madereros; disminución en la severidad y extensión de los incendios forestales y otras catástrofes naturales; la conservación de la biodiversidad; la prestación de servicios socioculturales; el apoyo al desarrollo de las comunidades asociadas; la reducción de la pobreza; entre otros.

### Contribución en Integración - UTCUTS - Bosques N°6 (I6)

ODS	CONTRIBUCIÓN
-----	--------------



**I6)** Reducir las emisiones del sector forestal por degradación y deforestación del bosque nativo en un 25% al 2030, considerando las emisiones promedio entre el periodo 2001-2013.

Para ello se considerarán las acciones propuestas en la ENCCRV, esto es:

- a) Potenciar modelos de gestión en prevención de incendios forestales y restauración de áreas quemadas.
- b) Potenciar modelos de gestión de sustentabilidad del uso de recursos naturales.
- c) Aplicar modelos de gestión para compatibilizar la ganadería con la conservación del bosque.
- d) Fortalecer la protección fitosanitaria en los recursos vegetacionales nativos.
- e) Gestión adaptativa de recursos vegetacionales al cambio climático, desertificación, degradación de las tierras y sequía.
- f) Ajuste normativo y desarrollo agropecuario compatible con los recursos vegetacionales.
- g) Apoyo al sector forestal.

En el marco de la ENCCRV, que actualmente considera los niveles de referencia para seis regiones del país (desde el Maule a Los Lagos), se pretende la incorporación de otras regiones, tales como las regiones de Aysén y Magallanes.

### 5.2.2.2 Turberas

Los humedales son ecosistemas reconocidos por la gran cantidad de carbono que son capaces de capturar y almacenar, proveyendo además otros importantes servicios ecosistémicos relacionados a la adaptación al cambio climático, entre los que destacan el filtrado y mantención de la calidad de agua, regulación del flujo de agua, reducción de ocurrencia de inundaciones y regulación de las temperaturas en áreas aledañas. Actualmente, existe limitada información respecto a la superficie total de humedales, incluyendo las turberas, y de las estimaciones del aporte en términos de captura y almacenamiento de GEI.

Asimismo, los humedales, especialmente los costeros, urbanos y turberas se encuentran altamente amenazados por el cambio de uso de suelo, la explotación no sustentable, la expansión urbana y su infraestructura, y los efectos del cambio climático, lo que pone en riesgo su sustentabilidad a largo plazo. De igual forma, se requiere avanzar en el conocimiento de estos ecosistemas y establecer métricas estandarizadas para la evaluación de sus capacidades de adaptación o mitigación al cambio climático, así como, medir los co-beneficios de las áreas, implementando acciones para su conservación y uso sustentable. Sobre esta base, el país establece los siguientes compromisos:

### Contribución en Integración - UTCUTS - Turberas N°7 (I7)

CONTRIBUCIÓN	ODS
--------------	-----

**I7)** Al 2025, se habrán identificado las áreas de turberas, así como otros tipos de humedales, a través de un inventario nacional.



### Contribución en Integración - UTCUTS - Turberas N°8 (I8)

CONTRIBUCIÓN	ODS
--------------	-----

**I8)** Al 2030, se habrán desarrollado métricas estandarizadas para la evaluación de la capacidad de adaptación o mitigación al cambio climático de humedales, especialmente turberas, implementando acciones para potenciar estos co-beneficios, en cinco sitios pilotos en áreas protegidas públicas o privadas del país.



## 5.3 Transversal a ecosistemas

Los atributos de la naturaleza y los beneficios que ésta genera para las personas son un fenómeno que se da en todas las escalas, desde la local a la global. En efecto, la naturaleza juega un rol fundamental en la provisión de alimentos, energía, medicinas, recursos genéticos, que permiten el mantenimiento de la calidad de vida. Las evaluaciones Globales de la Plataforma Intergubernamental Científico Político sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES) y del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) nos dan cuenta que las áreas protegidas y los proyectos de restauración son solo algunas de las posibles intervenciones, con una necesidad de centrarse en estrategias, para que los paisajes dominados por el ser humano brinden más apoyo a la diversidad biológica y a las contribuciones de la naturaleza a las personas. Ante el aumento de los factores de degradación que afecta a los paisajes, los ecosistemas y la biodiversidad, y que repercuten negativamente en el bienestar de la población y en el desarrollo de las actividades económicas, problemática de la que nuestro país no escapa, nos obligan a abordar esta materia con prontitud.

En este contexto, los Ministerios del Medio Ambiente y de Agricultura formulan un Plan Nacional de Restauración de Paisajes para el período 2021 - 2030, que permita el desarrollo de una agenda biministerial única y sinérgica en favor de la restauración de paisajes en el país. Este Plan es el resultado de un proceso sistemático de acercamiento entre dos ministerios que, teniendo énfasis distintos en sus mandatos institucionales, entienden que el territorio es un espacio común cuya adecuada funcionalidad es recuperar y mantener, como una tarea prioritaria para el país para transitar hacia la restauración de sus paisajes, en un proceso incremental, continuo y sustentable.

A efectos del plan, la restauración del paisaje es el

Proceso continuo de mejoramiento del bienestar humano y recuperación de la funcionalidad ecológica de paisajes de gran extensión y diversidad de usos, actores y ecosistemas, tanto terrestres como de aguas continentales y marino-costeros

enfaticando que se trata de un proceso de largo plazo con el objetivo de restituir la funcionalidad ecológica y la calidad de vida de las comunidades. Es importante resaltar que, para hablar de restauración de paisajes, es fundamental que los procesos de restauración conduzcan a una mayor sustentabilidad y resiliencia del

territorio frente al cambio climático, recuperando biodiversidad y aumentando la provisión de bienes y servicios ecosistémicos.

Entre los distintos elementos que constituyen los paisajes de restauración se encuentran las áreas protegidas, corredores ecológicos, bosques nativos, sistemas agroforestales, agricultura, bosques plantados, franjas ribereñas, humedales, zonas marino-costeras, asentamientos humanos, entre otros.

El enfoque de este plan, enmarcado en las ambiciones de Chile para enfrentar el cambio climático, permite la implementación de diferentes estrategias de restauración que en su conjunto apuntan, en el marco de una adecuada gobernanza, a lograr la sostenibilidad económica, ambiental y social en el largo plazo por medio de acciones de mitigación y adaptación. En este contexto, los objetivos de la restauración de paisajes en Chile se centrarán en conciliar de manera sustentable la recuperación de la productividad de suelos agrícolas y forestales, la conservación, manejo sostenible y restauración de bosques y de los diferentes tipos de ecosistemas, a la vez que se recupera la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para el bienestar de las comunidades y las personas.

La restauración de paisajes incluye, en términos generales, procesos de restauración ecológica; rehabilitación de suelos erosionados; rehabilitación de ciclos hidrológicos; recuperación de paisajes y ecosistemas afectados por incendios forestales, catástrofes u otros factores de degradación; conservación y protección de áreas naturales o de valor ecológico, entre otros.

### Contribución en Integración - Transversal a ecosistemas N°9 (I9)

CONTRIBUCIÓN	ODS
<p><b>I9)</b> Al año 2021 se contará con Plan Nacional de Restauración a Escala de Paisajes, que considerará la incorporación, a procesos de restauración, de 1.000.000 hectáreas de paisajes al 2030, priorizando en aquellos con mayor vulnerabilidad social, económica y ambiental.</p>	<div data-bbox="2298 1197 2447 1343"> <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p> </div> <div data-bbox="2458 1197 2606 1343"> <p>15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES</p> </div>

## 5.4 Océano

### 5.4.1 Contexto

27. Ove Hoegh-Guldberg & John F. Bruno. (2010). The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystem. *Science*, Vol.328, pp: 1523

28. Hans-O. Pörtner, Karl D., Boyd P., Cheung W., Lluich-Cota S., Zavalov P., et al. (2014). "Ocean Systems", in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A. Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Groups II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. L. Mach, M. D. Mastrandrea, T. F. Bilir et al. (New York, NY: Cambridge University Press), 411-484.

29. Jean-Pierre Gattuso, Magnan Alexandre K., Bopp Laurent, Cheung William W. L., Duarte Carlos M., Hinkel Jochen, Mcleod Elizabeth, Micheli Fiorenza, Oschlies Andreas, Williamson Phillip, Billé Raphaël, Chalastani Vasiliki I., Gates Ruth D., Irissou Jean-Olivier, Middelburg Jack J., Pörtner Hans-Otto, Rau Greg H. (2018). Ocean Solutions to Address Climate Change and Its Effects on Marine Ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, Vol. 5, pp: 337.

30. Greg H. Rau. (2014). Enhancing the ocean's role in CO2 mitigation in global environmental change, in *Handbook of Global Environmental Pollution*, Vol. 1, ed. B. Freedman, pp: 817.

31. Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Manning, A. C., et al. (2018). Global carbon budget 2017. *The Journal of Earth System Science*. Data 10, pp: 405.

La mayoría de las proyecciones científicas indican que el incremento en la concentración de gases de efecto de invernadero en la atmósfera y el aumento de la temperatura media global provocará severos cambios en los ecosistemas marinos y servicios ecosistémicos en respuesta al aumento a la acidificación, la desoxigenación y el aumento en el nivel del mar.<sup>27, 28, 29</sup>

El océano es actualmente responsable de capturar cerca de un tercio del CO2 antropogénico emitido a la atmósfera,<sup>30, 31, 32</sup> y de absorber alrededor del 90% del calor resultante de estas emisiones. No obstante, para abordar un mayor potencial de contribución del océano a los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático, es necesario que la ciencia y la política de gestión de los mares identifiquen y apoyen el desarrollo rápido de acciones ambiciosas a escala local que puedan ser escalables.<sup>35</sup>

Una de las estrategias más prácticas y costo-efectivas utilizadas para la protección del océano es la creación de áreas marinas protegidas (AMP), las cuales, bien implementadas y siendo manejadas adecuadamente, pueden contribuir significativamente a proteger la biodiversidad y recuperar especies, ecosistemas y hábitat degradados. La evidencia científica reconoce la importancia de las AMP y su aporte a los objetivos globales de conservación marina, pero recientemente también ha comenzado a destacar su potencial como herramientas para aportar a los esfuerzos de mitigación y adaptación contra el cambio climático, y de la necesidad urgente de realizar cambios en políticas públicas para reconocer y fortalecer este vínculo, especialmente por su contribución ante efectos como:

- El alza en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera
- El aumento de tormentas y otros eventos meteorológicos extremos
- La disminución de la productividad oceánica
- Los cambios en las condiciones ambientales
- Los cambios en las distribuciones de las especies
- La acidificación y desoxigenación del océano

Chile cuenta a la fecha con 39 áreas marinas protegidas, las cuales representan, en cobertura, un 42% de la superficie de la Zona Económica Exclusiva, cuadruplicando la meta solicitada por las Naciones Unidas al 2020 en el marco de las metas Aichi de la Convención de Diversidad Biológica.

Respecto de la inclusión del cambio climático en la gestión de las áreas marinas protegidas, Chile se ha propuesto avanzar en dos niveles:

- **Nivel 1:** Se evalúan los riesgos y vulnerabilidades del área marina protegida por efectos del cambio climático y se adapta el manejo para proteger el área ante estos impactos.
- **Nivel 2:** Se evalúan los co-beneficios que el área brinda en adaptación y mitigación del cambio climático y se adapta el manejo para potenciar estos co-beneficios.

Complementariamente, es importante precisar que, para una mejor comprensión, las "ecorregiones marinas sub-representadas son aquellas cuya superficie está protegida como área marina protegida en menos de 10%".<sup>36</sup>

32. Nicolas Gruber, Clement D., Carter B., Feely R. van Heuven S., Hoppema M., Ishii M. Key R., et al. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO2 from 1994 to 2007. *Science*. Vol. 363, pp: 1193

33. Resplandy, L., Keeling RF, Eddebbar Y, Brooks MK, Wang R, Bopp L, Long MC, Dunne JP, Koeve W, Oschlies A. (2018). Quantification of ocean heat uptake from changes in atmospheric O2 and CO2 composition. *Nature*, Vol. 563, pp:105.

34. Laure Zanna, Samar Khatiwala, Jonathan M. Gregory, Jonathan Ison, Patrick Heimbach (2019). Global reconstruction of historical ocean heat storage and transport. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 116 (4), pp: 1126.

35. Jean-Pierre Gattuso, Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., et al. (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO2 emissions scenarios. *Science*, Vol. 349, pp: 4722.

36. Meta N°11, Metas AICHI para la Diversidad Biológica. <https://www.cbd.int/sp/targets/>

### 5.4.2 Contribución en materia de océano

Chile se compromete, en materia de áreas marinas protegidas, a lo siguiente:

#### Contribución en Integración - Océano N°10 (I10)

ODS	CONTRIBUCIÓN
-----	--------------



**I10)** Se crearán nuevas áreas protegidas en ecorregiones marinas sub-representadas, tomando en cuenta para la identificación de tales áreas, entre otros, criterios relativos a los efectos del cambio climático y a la construcción de una red de áreas marinas protegidas. Además, se crearán áreas protegidas en ecosistemas costeros sobre humedales, terrenos fiscales y bienes nacionales de uso público que complementen la red marina.

**En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:**

- a)** Al 2030 proteger al menos el 10% de las ecorregiones marinas sub-representadas (Humboldtiana, Chile Central, Araucana y Chilense), en el marco de una planificación basada en ciencia y que considere criterios para hacer frente a los efectos del cambio climático.
- b)** Al 2025 proteger al menos 20 humedales costeros como nuevas áreas protegidas.
- c)** Al 2030 proteger al menos 10 humedales costeros adicionales como áreas protegidas.

#### Contribución en Integración - Océano N°11 (I11)

CONTRIBUCIÓN	ODS
--------------	-----

**I11)** Todas las áreas marinas protegidas de Chile creadas hasta antes de 2020 contarán con su plan de manejo o administración y se encontrarán bajo implementación efectiva, contemplando en ello acciones de adaptación a los efectos del cambio climático.



**En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:**

- a)** Al 2025: el 100% de las áreas marinas protegidas creadas hasta antes de 2020 contarán con planes de manejo o de administración que incluyan acciones para la adaptación al cambio climático.
- b)** Al 2025: Los planes de manejo o de administración de al menos el 40% de las áreas marinas protegidas creadas hasta antes de 2020 serán implementados a través de, al menos, programas de monitoreo, fiscalización, vinculación comunitaria y control de amenazas.
- c)** Al 2030: el 100% de las áreas marinas protegidas creadas entre 2020 y 2025 contarán con planes de manejo o de administración que incluyan acciones para la adaptación al cambio climático.
- d)** Al 2030: Los planes de manejo o de administración del 100% de las áreas marinas protegidas creadas hasta antes de 2020 serán implementados, a través de programas de monitoreo, fiscalización, vinculación comunitaria y control de amenazas.
- e)** Al 2030: Se habrá desarrollado y comenzado la implementación de una metodología para la evaluación de efectividad del manejo del 100% de los planes de manejo o de administración de áreas marinas protegidas que permita conocer el avance de las metas propuestas en dichos planes en materia de mitigación y adaptación al cambio climático.

### Contribución en Integración - Océano N°12 (I12)

ODS	CONTRIBUCIÓN
 	<p><b>I12)</b> Se evaluarán los co-beneficios que los distintos ecosistemas marinos en áreas marinas protegidas brindan en cuanto a mitigar o adaptarse al cambio climático y se implementarán acciones para potenciar estos co-beneficios.</p> <p><b>En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:</b></p> <p><b>a)</b> Al 2025: Se desarrollarán, para 3 áreas marinas protegidas de Chile, métricas estandarizadas para la evaluación de sus capacidades de adaptación o mitigación al cambio climático.</p> <p><b>b)</b> Al 2030: Se implementarán las métricas desarrolladas para permitir el monitoreo y verificación de capacidades de adaptación o mitigación en al menos 5 áreas marinas protegidas integrando el fortalecimiento de los co-beneficios en sus planes de manejo.</p>



# 6

## COMPONENTE SOBRE MEDIOS DE IMPLEMENTACIÓN



---

## Componente sobre Medios de Implementación

---

El presente componente, denominado “Medios de Implementación”, agrupa al conjunto de compromisos necesarios, de forma complementaria, para la consecución de las metas y objetivos identificados previamente, es decir, en materia de mitigación, adaptación e integración. Los medios de implementación han sido agrupados en tres subcomponentes: i) Construcción y fortalecimiento de capacidades; ii) Desarrollo y transferencia de tecnologías; iii) Financiamiento climático.

A continuación, presentamos el contexto internacional y nacional común para estos componentes, y luego se exponen los compromisos específicos para cada uno de ellos.

---

### 6.1 Contexto internacional

---

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), al igual que el Acuerdo de París, indican que promoverán y facilitarán, en el plano nacional, regional y subregional, acciones en materia de educación, fortalecimiento de capacidades (formación de personal científico, técnico y directivo), junto con el acceso del público a la información sobre el cambio climático. De igual forma, el Acuerdo de París señala que

el fomento de capacidades debería mejorar la capacidad y las competencias de las Partes que son países en desarrollo y facilitar el desarrollo, la difusión y el despliegue de tecnología, el acceso a financiación para el clima, los aspectos pertinentes de la educación, formación y sensibilización del público y la comunicación de información de forma transparente, oportuna y exacta (artículo 11).

Dentro de los propósitos identificados para el desarrollo y la transferencia tecnológica, en el Acuerdo de París (artículo 4), está “promover y facilitar una mayor acción en materia de desarrollo y transferencia de tecnología con el fin de apoyar la aplicación del Acuerdo de París en pos de un largo período de tiempo”. La visión a largo plazo para el desarrollo y la transferencia de tecnología compartida por las Partes se relaciona con la importancia de aprovechar plenamente el desarrollo y dicha transferencia para mejorar

la capacidad de adaptación al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Respecto de financiamiento climático, el Acuerdo de París señala en su artículo 2, que se deberán “situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero”. Adicionalmente, señala en el artículo 9.4, que

en el suministro de un mayor nivel de recursos financieros se debería buscar un equilibrio entre la adaptación y la mitigación, teniendo en cuenta las estrategias que determinen los países y las prioridades y necesidades de las Partes que son países en desarrollo (...)

## 6.2 Contexto nacional

La ejecución de medidas para hacer frente a los impactos del cambio climático requiere de una base de conocimientos, obtenidos mediante la investigación científica integrada y la observación sistemática del clima. También, requiere del fortalecimiento de capacidades, tanto de personas como de instituciones,<sup>37</sup> a fin de que exista una mayor comprensión del tema, facilitando tanto el proceso de transferencia de tecnología como el de acceso a recursos financieros. Asimismo, es fundamental contar con la participación activa de la ciudadanía en el desarrollo de las acciones, siendo menester la educación, formación y sensibilización ciudadana en el ámbito del cambio climático<sup>2</sup>.

Para el caso de la planificación de acciones de los medios de implementación, el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012, incluyó un capítulo de Creación y Fortalecimiento de Capacidades, cuyo objetivo principal fue

difundir y crear conciencia en la ciudadanía, frente a los problemas ambientales y, en particular, a aquellos derivados del cambio climático, fomentando la educación, sensibilización e investigación sobre esta temática en Chile.

Posteriormente, la actualización del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático para el período 2017-2022, incluyó entre sus objetivos uno específico del eje medios de implementación, para

desarrollar las condiciones habilitantes necesarias para la implementación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático al nivel nacional y subnacional en el ámbito de la institucionalidad y marco legal, de la transferencia

tecnológica, la creación de capacidades y asistencia técnica, el financiamiento y la negociación internacional.

Por otra parte, en materia de financiamiento climático, nuestro país ha avanzado en el establecimiento de un marco de financiamiento climático y de finanzas verdes en general. Para estos efectos, Chile presentó en la COP25 la “Estrategia Financiera frente al Cambio Climático”,<sup>38</sup> la que establece el marco estratégico para lograr la transición hacia una economía baja en emisiones y resiliente al clima. De igual forma, se estableció una Mesa Público-Privada de Finanzas Verdes (julio 2019), para desarrollar un trabajo colaborativo con el sector financiero, que permita incorporar los riesgos y oportunidades asociados al cambio climático. Como parte de los resultados del trabajo de la Mesa, se realizó una declaración pública sobre el cambio climático (diciembre 2019), por parte las principales autoridades financieras del país, lideradas por el Ministerio de Hacienda, la Comisión de Mercado Financiero, la Superintendencia de Pensiones y el Banco Central de Chile, estableciendo así la relevancia de los impactos del cambio climático en el sistema financiero global y nacional. Un segundo producto del trabajo de la Mesa, fue la suscripción de un “Acuerdo Verde” por parte de las principales instituciones financieras del país, incluyendo al Estado, los reguladores y las entidades financieras.

Junto con lo anterior, Chile ha avanzado en la formalización y consolidación del Fondo Verde del Clima (FVC) en nuestro país, estableciendo los arreglos institucionales que permiten una adecuada gestión del mismo. Para estos efectos, se ha constituido una Secretaría Técnica, integrada por los Ministerios de Hacienda, Relaciones Exteriores, y del Medio Ambiente, éste último, a cargo de su coordinación.

Adicionalmente, es necesario destacar la emisión por parte del Ministerio de Hacienda del primer bono verde soberano del continente americano (junio 2019), un instrumento de financiamiento climático relevante, que focaliza sus inversiones en proyectos públicos sustentables, bajo un proceso de evaluación de terceros y de certificación internacional. A la fecha, el Ministerio ha emitido bonos verdes por un total de USD6,2 mil millones, logrando tasas históricamente bajas para el país, ampliando la base de inversionistas y, a su vez, confirmando el compromiso de Chile con la promoción de las finanzas climáticas.

Conforme a lo anterior, a continuación, se presenta la actualización para los medios de implementación de la NDC.

37. En esta línea, se destaca la iniciativa denominada “Estado Verde”, en la que el Estado de Chile se compromete a impulsar, con acciones concretas, una gestión sustentable en su diario quehacer, liderando con el ejemplo en materia de sustentabilidad. Este programa consiste en un sistema de acreditación que desarrolla el Ministerio del Medio Ambiente, cuyo objetivo es incorporar buenas prácticas ambientales en el día a día de los órganos del Estado (estado-verde.mma.gob.cl)

38. <https://www.hacienda.cl/oficina-de-la-deuda-publica/bonos-verdes/otros-documentos-relevantes/estrategia-financiera.html>

## 6.3 Contribución en materia de creación y fortalecimiento de capacidades

### Contribución en Medios de Implementación Creación y fortalecimiento de capacidades N°1 (MI1)

ODS	CONTRIBUCIÓN
 <p>4 EDUCACIÓN DE CALIDAD</p>	<p><b>MI1)</b> En 2020, Chile desarrollará la “Estrategia de Desarrollo de Capacidades y Empoderamiento Climático” y comenzará su implementación durante el 2021, con el objetivo de fortalecer las capacidades sectoriales, nacionales y subnacionales, de las personas y organizaciones tanto públicas como privadas, de la academia y la sociedad civil, que permitan alcanzar las metas de mitigación y adaptación del país.</p> <p><b>En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:</b></p> <p>La estrategia propondrá las áreas en las que es necesario focalizar el desarrollo de capacidades y empoderamiento climático y los organismos del Estado responsables, se elaborará e implementará considerando los objetivos de desarrollo sostenible y criterios de equidad inter-generacional y de género, así como el de transición justa, integrando tanto saberes como necesidades específicas de comunidades vulnerables.</p> <p>La elaboración e implementación de la “Estrategia de Desarrollo de Capacidades y Empoderamiento Climático” considerará al menos los siguientes elementos:</p> <p><b>a)</b> Fortalecimiento de la institucionalidad y gobernanza de la acción climática.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecimiento de la institucionalidad sectorial, nacional y subnacional de cambio climático en Chile.</li> </ul>
 <p>5 IGUALDAD DE GÉNERO</p>	
 <p>8 TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO</p>	
 <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>	
 <p>16 PAZ, JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS</p>	

74

- Fomento de la participación de la ciudadanía, con foco en las comunidades vulnerables, en la elaboración e implementación de políticas, programas, planes y acciones de cambio climático.
- Disposición pública de la información sobre cambio climático que facilite el diseño e implementación de acciones locales.
- Integración de enfoque de género en todas las políticas, programas, planes y acciones de cambio climático.

**b)** Fomento de la generación de capacidades técnicas a nivel sectorial, nacional y subnacional, a fin de fortalecer la resiliencia frente a los efectos del cambio climático y de promover la transición justa de la fuerza laboral en el tránsito hacia un desarrollo resiliente y bajo en emisiones.

- Promover la formación, desarrollo y reconversión de competencias laborales, a fin de mitigar las emisiones de GEI, y facilitar la adaptación a los impactos que los efectos del cambio climático y las medidas adoptadas para hacerle frente puedan tener en el mundo del trabajo, disminuyendo sus efectos negativos y aprovechando las oportunidades que de ellos puedan surgir.
- Promover el diseño e implementación de programas de formación sobre el cambio ambiental y climático para los actores que tengan una función clave a nivel sectorial, nacional y subnacional.

**c)** Investigación y ciencia para la acción climática.

- Fomento de la investigación en áreas vinculadas al cambio climático en los distintos ámbitos de las ciencias y el conocimiento.
- Fomento de la formación de capital humano avanzado en áreas vinculadas al cambio climático.

**d)** Sensibilización y educación para la acción climática.

- Desarrollo de procesos de educación ambiental en cambio climático, en el ámbito formal e informal, que permitan empoderar a la ciudadanía en su conjunto para la acción climática.
- Generación de procesos de empoderamiento ciudadano para la participación activa en la resolución de problemas asociados al cambio climático.

**e)** Cooperación e intercambio de experiencias

- Cooperación e intercambio entre actores locales del país, y con otros países, respecto al desarrollo e implementación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, sobre los medios de implementación (creación de capacidades, transferencia de tecnología, financiamiento).

75

## 6.4 Contribución en materia de desarrollo y transferencia de tecnologías

### Contribución en Medios de Implementación Desarrollo y transferencia de tecnologías Nº2 (MI2)

ODS	CONTRIBUCIÓN
-----	--------------



**MI2)** Chile presentará en el 2020 su “Estrategia de Desarrollo y Transferencia Tecnológica para el Cambio Climático” (EDTTCC), y la comenzará a implementar con el fin de fomentar y fortalecer el desarrollo y transferencia tecnológica apoyando e impulsando las transformaciones culturales, sociales, ambientales y económicas necesarias para lograr un desarrollo sostenible, resiliente y carbono neutral al 2050. Para esto, los organismos del Estado trabajan coordinadamente entre ellos y con los diferentes actores de la sociedad generando múltiples co-beneficios a los ecosistemas, territorios y sistemas productivos. Esto le permite a Chile a tomar un rol de liderazgo y referente internacional en desarrollo y transferencia tecnológica, transformando este gran desafío transversal en una oportunidad de desarrollo y bienestar para el país y el mundo.

#### En particular, se desarrollarán las siguientes acciones climáticas:

Para la implementación de la Estrategia, se establecerá su institucionalidad y gobernanza, así como, las áreas en las que es necesario focalizar el desarrollo y transferencias de tecnologías climáticas. La Estrategia será evaluada y actualizada, al menos, cada 5 años y considerará al menos las siguientes contribuciones:

#### a) Establecer la institucionalidad y gobernanza de la EDTTCC

- Chile al 2020 habrá establecido una gobernanza e institucionalidad para la implementación de la EDTTCC y apoyar la contribución nacional en mitigación y adaptación, así como a la respuesta mundial y a largo plazo al cambio climático.
- Chile al 2025 habrá revisado y evaluado su EDTTCC, a partir de la Estrategia Climática de Largo Plazo y los planes climáticos vigentes.

- Chile al 2030 habrá evaluado y actualizado su EDTTCC, a partir de los resultados de evaluación y monitoreo realizados a su implementación al cambio climático.

- Chile al 2030 habrá generado, focalizado y vinculado los instrumentos de apoyo para el desarrollo y transferencia de tecnología, tanto para el desarrollo local como para la transferencia de tecnologías existentes a nivel local y mundial, en mitigación y adaptación para los ámbitos y/o distintos sectores productivos priorizados a nivel nacional y regional.

#### b) Implementar y operar los mecanismos e instrumentos para el análisis de necesidades y para la implementación de planes de acción tecnológicos en áreas focalizadas.

- Chile habrá implementado durante el 2020-2025 el primer ciclo del Plan de Acción de Necesidades Tecnológicas de la EDTTCC para al menos tres ámbitos y/o sectores priorizados.

- Chile al 2021 contará con un Sistema de Inventario de Tecnologías Climáticas para ser transferidas que contemple la generación local, como también, la adopción de tecnologías existentes a nivel mundial.

- Chile al 2021 contará con los mecanismos e instrumentos de fomento para focalizar y articular los procesos de Desarrollo y Transferencia Tecnológica para el Cambio Climático de los Centros de Investigación, Institutos Tecnológicos Públicos y Centros de Excelencia Internacional, entre otros, así como también, la formación e inserción de capital humano necesario.

- Chile al 2021 contará con mecanismos e instrumentos de fomento para la adopción de tecnologías existentes a nivel mundial.

- Chile al 2022 contará con un inventario de Centros de Investigación, iniciativas y proyectos I+D+i asociados a mitigación y adaptación y capacidades para articular el Desarrollo y la Transferencia Tecnológica para el cambio climático.

- Chile al 2030 generará, focalizará y vinculará instrumentos de apoyo para el desarrollo y transferencia de tecnología, para el desarrollo local, como la adopción de tecnologías existentes a nivel mundial, para los ámbitos priorizados en mitigación y adaptación en los ámbitos y/o distintos sectores productivos priorizados.

## 6.5 Contribución en materia de financiamiento climático

Chile, durante el año 2019, presentó su primera “Estrategia Financiera frente al Cambio Climático” (EFCC), en el marco de la COP25, cumpliendo de esta forma con el compromiso establecido en 2015. Esta estrategia, desarrollada con el apoyo de múltiples actores sectoriales, el regulador y el sector financiero del país, busca establecer los lineamientos y condiciones habilitantes para la transición a una economía resiliente y baja en carbono, y así implementar los objetivos climáticos y de desarrollo sostenible que permitan alcanzar la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al 2050. La Estrategia considera tres ejes de acción: i) la generación de información, datos y análisis bajo un marco institucional coherente; ii) la promoción de instrumentos económicos y financieros verdes que apoyen el desarrollo de mercados bajos en emisiones y resilientes al clima; y iii) el fortalecimiento de las finanzas verdes en el sector financiero. En esta línea, se presenta el siguiente compromiso en materia de financiamiento climático:

**b)** Promover el diseño e implementación de instrumentos financieros verdes y el impulso de mercados para contribuir al desarrollo de sectores económicos resilientes al clima y bajos en emisiones de carbono.

**c)** Promover la cooperación público-privada de largo plazo en cuanto a la comprensión y gestión de los riesgos y oportunidades asociados al cambio climático, para la toma de decisiones por parte de los actores del sector financiero local.

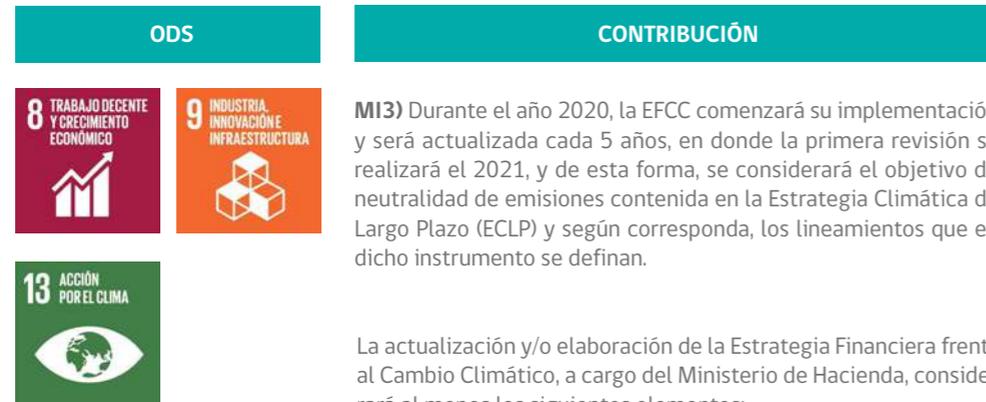
**d)** Establecer un plan de trabajo durante 2020, que permita avanzar en un marco fiscal para la determinación del gasto climático, tanto directo como indirecto, en línea con los esfuerzos por mejorar la eficiencia y calidad del gasto público. La implementación de dicho plan de trabajo estará sujeta a la disponibilidad de recursos, conforme a la aprobación de la respectiva Ley de Presupuestos.

**e)** Perfeccionar la institucionalidad de Chile ante el Fondo Verde para el Clima (FVC), incluyendo:

- Perfeccionamiento de la metodología<sup>39</sup> de evaluación y priorización de proyectos a presentar al FVC, a la luz de las prioridades actuales y futuras del país. Se procurará que los proyectos priorizados estén alineados con la Estrategia Climática de Largo Plazo, y con los objetivos y compromisos de la NDC.
- Estandarización de las convocatorias para proyectos públicos y privados. Lo anterior, con miras a identificar un portafolio de proyectos que sea compatible con la meta de neutralidad de emisiones de GEI al 2050.

39. Aprobada por el Acuerdo N°9/2017 del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS)

### Contribución en Medios de Implementación Financiamiento N°3 (MI3)



La actualización y/o elaboración de la Estrategia Financiera frente al Cambio Climático, a cargo del Ministerio de Hacienda, considerará al menos los siguientes elementos:

**a)** Generar información, datos y análisis para movilizar los flujos de capital bajo un marco institucional de políticas y medidas coherentes con los objetivos climáticos del país, las prioridades de crecimiento económico, la responsabilidad fiscal y el desarrollo sostenible con una visión de largo plazo.



# 7

**INFORMACIÓN PARA  
FACILITAR LA CLARIDAD,  
TRANSPARENCIA Y  
ENTENDIMIENTO**  
de la Contribución Determinada a  
Nivel Nacional de Chile



---

## Información para Facilitar la Claridad, Transparencia y Entendimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile

---

De acuerdo a lo dispuesto en el Anexo I, de la Decisión 4/CMA.1,<sup>40</sup> el país informa lo siguiente con respecto a la meta transversal a la economía en materia de mitigación:

---

### 7.1 Información respecto al punto de referencia

---

La contribución de Chile no considera un punto de referencia comparativo, más sí un horizonte temporal (2020-2030) y año de meta (2030). Por lo tanto, no se tiene una meta relativa al año de inicio o referencia.

---

### 7.2 Marco temporal y periodo de implementación

---

Las metas de mitigación tienen un periodo de implementación que comprende desde 2020 a 2030. La meta transversal a la economía considera además un año máximo de emisiones, al 2025, lo que se traduce en un cambio desde una tendencia creciente de emisiones de GEI hacia una trayectoria de emisiones decreciente a partir de ese punto máximo. Con respecto al presupuesto de GEI comprometido, este implica que las emisiones de GEI acumuladas de Chile entre 2020-2030 (11 años), no sobrepasarán las 1.100 MtCO<sub>2eq</sub>.

40. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018\\_3\\_add1\\_advance.pdf#page=9](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018_3_add1_advance.pdf#page=9)

## 7.3 Alcance y cobertura

41. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/2018\\_NIR\\_CL.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/2018_NIR_CL.pdf)

43. [http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin\\_ini=13191-12](http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=13191-12)

La meta transversal a la economía de mitigación, que implica un máximo de emisiones al 2025 y un máximo de emisiones acumuladas en el periodo 2020-2030, considera las emisiones de GEI de los sectores incluidos en el último INGEI de Chile:<sup>41</sup> Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU), Agricultura y Residuos, excluyendo el sector UTCUTS.

Esta meta considera los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>). La estimación de emisiones y absorción de los GEI de todos los sectores se realiza de acuerdo a las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Para la contabilidad se consideraron los potenciales de calentamiento global del Cuarto Reporte del IPCC (2007).

Para la estimación de carbono negro, se consideraron directrices internacionales adaptadas a la realidad nacional. Durante 2019 además se realizó un estudio en conjunto con el Centro de Clima y Resiliencia de la Universidad de Chile (CR2), donde se identificaron potenciales mejoras a la información usada para el inventario de este contaminante además de evaluar trayectorias de mitigación al 2030 para ser incluidas en esta NDC.

## 7.4 Proceso de planificación

Para revisar y definir las metas y acciones potenciales asociadas la contribución de mitigación, el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con el Ministerio de Energía, Ministerio de Hacienda, Ministerio de Relaciones Exteriores y de diferentes ministerios sectoriales (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Ministerio de Agricultura y Ministerio de Minería), trabajaron en el desarrollo de una proyección de largo plazo con el objetivo de determinar una ruta para alcanzar la meta de neutralidad de GEI al 2050 establecida en el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático<sup>42</sup> y de acuerdo con el compromiso adquirido como país para el cierre de centrales de carbón al 2040. La actualización de la Contribución surge como un hito intermedio de este trabajo, identificando los resultados de la planificación a 2030,

lo cual es consistente con la mirada de largo plazo. Asimismo, ha sido posible lograr un entendimiento común de la metodología, fuentes de información, herramientas de simulación y criterios de decisión empleados.<sup>43</sup>

### 7.4.1 Visión al 2030 y 2050

La visión del país en torno a la gestión del cambio climático se definirá bajo dos horizontes:

#### Mediano plazo (en línea con NDC): año 2030

“Cada Parte deberá preparar, comunicar y mantener las sucesivas contribuciones determinadas a nivel nacional que tenga previsto efectuar” (Artículo 4.2 del Acuerdo de París).

La visión a mediano plazo, será definida como parte de la etapa de actualización de la NDC, proceso que será implementado durante el presente año, bajo la coordinación del Ministerio del Medio Ambiente, y con la colaboración de partes interesadas provenientes del sector público, privado, la academia y la sociedad civil.

#### Largo plazo: año 2050

“Todas las Partes deberían esforzarse por formular y comunicar estrategias a largo plazo para un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero” (Artículo 4.19 del Acuerdo de París)

La visión de largo plazo para el país será delineada a través de un proceso participativo a ejecutar durante el 2020, en el marco del diseño de la Estrategia Climática de Largo Plazo al 2050 para Chile.

### 7.4.2 Metodología de trabajo

Con objeto de alinear la definición de la NDC con la visión 2050 anunciada por Chile, y que los compromisos de mitigación sean hitos intermedios en la trayectoria hacia la neutralidad de GEI, el Ministerio del Medio Ambiente coordinó distintas mesas de trabajo intersectoriales. Estas mesas tenían como propósito explorar el potencial de mitigación a través de la proyección de escenarios del país basándose en criterios políticos, tecnológicos y económicos.

La proyección de los escenarios a 2050 se desarrolló considerando la modelación de los cinco sectores del INGEI (Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS y Residuos), el cual a su vez se elabora de acuerdo a las Directrices del IPCC 2006. Se trabajaron los cinco sectores de manera individual, para luego ser integrados.

43. Detalles del proceso técnico y colaborativo entre ministerios y la academia, fue documentado en un whitepaper llamado: “Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological approach and supporting ambition”, desarrollado por la Mesa de Mitigación y Energía del Comité Científico de la COP25. <https://mma.gob.cl/primer-proceso-de-actualizacion-de-la-contribucion-determinada-a-nivel-nacional-ndc/>

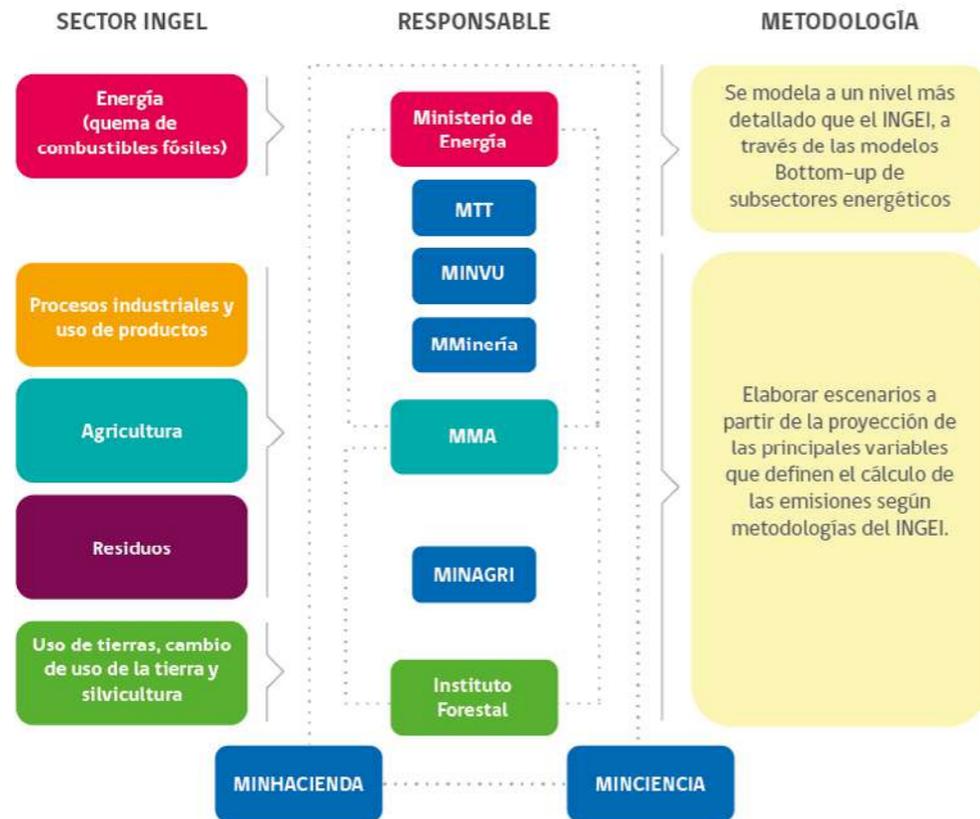
44. Proceso establecido en la Ley General de Servicios Eléctricos, según se estipula en el respectivo Reglamento (DS 134 del 5 de enero de 2017)

En el caso del sector Energía, este es proyectado con las herramientas que dispone el Ministerio de Energía para evaluar escenarios de demanda y oferta energética, que son las herramientas principales sobre las cuales este Ministerio elabora los escenarios de su Planificación Energética de Largo Plazo (PELP).<sup>44</sup>

Por otra parte, para los sectores no energía (IPPU, Agricultura, UTCUTS y Residuos), se utilizaron los mismos modelos con los cuales se elabora el INGEI, pero proyectados en el largo plazo de acuerdo a la proyección de variables fundamentales de cada categoría o sector, por ejemplo: el PIB, la población, las cabezas de ganado, hectáreas de forestación esperada, etc.

En general, consistió en una modelación de dos escenarios: i) El primero proyectando las emisiones de GEI nacionales con las políticas y acciones actuales (hasta mayo 2019), y ii) un escenario de neutralidad que incluye medidas y consideraciones que pueden llevar a Chile a alcanzar la neutralidad de GEI en 2050.

Figura 1: Marco de trabajo en la elaboración de proyecciones y escenarios de mitigación para la neutralidad y NDC



86

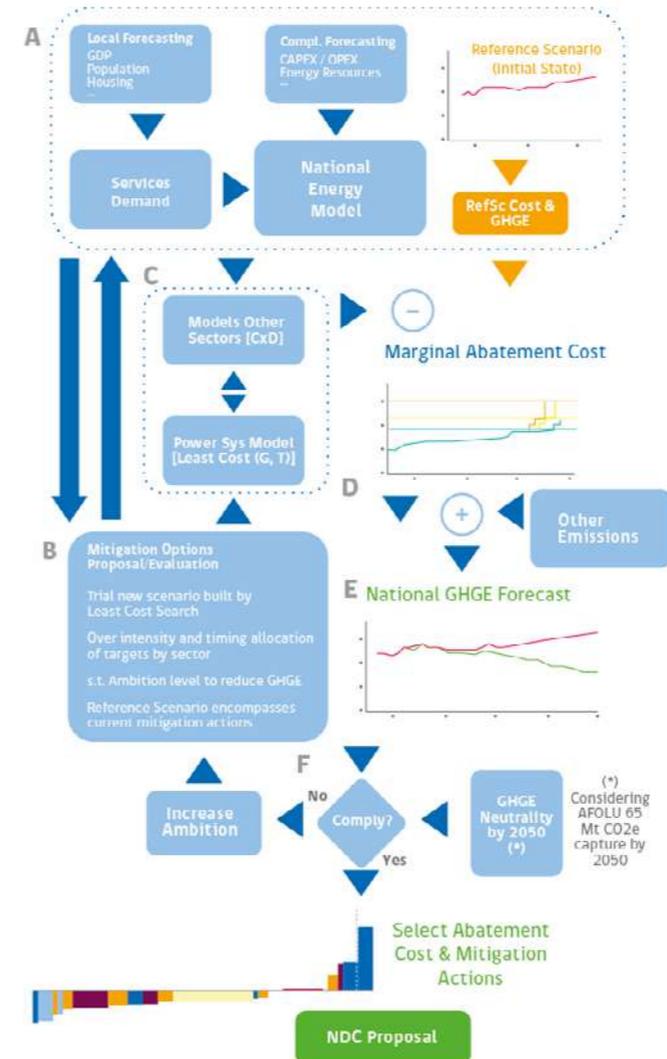
### 7.4.3 Detalle del marco metodológico

#### Sector energía

El marco general usado en el proceso y un detalle de los modelos es detallado en el documento "Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological approach and supporting ambition", desarrollado por la Mesa de Mitigación y Energía del Comité Científico de la COP25.<sup>45</sup> De él se extrae la Figura 2 que explica el flujo de información e interacción de los modelos y desarrollo de escenarios:

45. Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological Approach and Supporting Ambition. Mitigation and Energy Working Group Report. Santiago: COP25 Scientific Committee; Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.

Figura 2: Marco metodológico para la modelación de escenarios de GEI sector energía



87

Fuente: Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological Approach and Supporting Ambition. Mitigation and Energy Working Group Report. Santiago: COP25 Scientific Committee

La figura ilustra el proceso de análisis energético incluyendo sus principales componentes. Cada sección del diagrama muestra los pasos lógicos del enfoque metodológico y cada bloque del diagrama representa modelos específicos, un supuesto común de las variables proyectadas, y el criterio usado durante el proceso. En la Sección A del proceso, se establecen las principales proyecciones micro y macroeconómicas, otras variables locales y complementarias fueron integradas para alimentar las proyecciones de la demanda nacional de servicios energéticos. Esta demanda por servicios son convertidas en necesidades energéticas usando modelos específicos por sector económico, y el inventario de emisiones del sector energía como punto de partida. El escenario de políticas actuales fue calculado considerando esta información y fue posteriormente usado como base de referencia para comparar emisiones y niveles de costos para distintos escenarios de mitigación (Sección B).

En la Sección C, la generación de electricidad se proyecta mediante un modelo uninodal determinístico de expansión a mínimo costo. Los otros sectores de la demanda energética se modelan considerando un criterio de costo efectividad el cual se construye mediante la elaboración de una curva de costos marginales de abatimiento.

Las alternativas de mitigación incluyen diversas adopciones de tecnología, intensidades, tiempo de implementación, gestión de la demanda y reasignación de la demanda entre los sectores. Estas alternativas son propuestas, compiladas y analizadas en la Sección B.

Como escenario de referencia, el proceso iterativo parte con el cálculo de las emisiones de GEI y los costos bajo políticas nacionales dependiendo de la adopción de la tecnología. En la Sección D, el resultado del cálculo de los costos de abatimiento es usado como guía para hacer una nueva corrida que se analizó nuevamente en cada módulo. La salida, finalmente, permite refinar la curva de costo marginal de abatimiento y el cálculo de las emisiones. Las emisiones proyectadas en el escenario propuesto, más las emisiones de las otras fuentes no-energías se comparan para cumplir el objetivo del proceso: La neutralidad de GEI al 2050 (la que asume una captura desde el sector UTCUTS de 65MtCO2 en 2050, niveles similares al 2016).

Las medidas consideradas en los escenarios analizados se encuentran enumeradas en la tabla 1, cabe aclarar que la modelación hecha considera escenarios, lo que no supone un compromiso de implementación de las medidas modeladas. Estas representan medidas que potencialmente pueden ayudar a alcanzar la neutralidad, pero que pueden o no ser incluidas posteriormente en los planes de mitigación sectoriales:

Tabla 1: Medidas consideradas en los escenarios proyectados

Descripción			Escenario de Referencia	Escenario de Carbono Neutralidad
Ámbito	Medida	Sector		
Retiro de Centrales	Energías renovables en reemplazo de centrales térmica	Energía	Retiro de 2,500 MW al 2050	Retiro de 5,500 MW al 2040
	Fomento a renovación energética de viviendas	Energía	OGUC	OGUC 57% de casas (70% deptos) calefaccionan con electricidad al 2050
	SST-residencial y público	Energía	Sin medida asociadas	52% en usos de ACS en hogares y 10% en hospitales al 2050
Edificación Sostenible	Generación distribuida	Energía	1278 GWh en Residencias al 2050 y 3633 GWh en Comercial	1.800 GWh en Residencial al 2050 y 5.657 GWh en Comercial
	RT viviendas vulnerables	Energía	Sin medida asociadas	Reacondicionamiento a 20.000 viviendas al año
	MEPS nuevos	Energía	Sin medidas asociadas	MEPS de TV, Lavavajillas, Secadoras, Hornos Eléctricos y Microondas
	Calefacción eléctrica público comercial	Energía	Sin medidas asociadas	Supermercados, multitiendas y clínicas usan de 84%, 76% y 48% al 2050, respectivamente
	Geotermia	Energía	Sin medidas asociadas	35 GWh a nivel nacional, cifras que se mantiene hasta el año 2050
	Calefacción distrital	Energía	Sin medidas asociadas	0,2 en la matriz consumo energético para el uso calefacción
	Taxis 100% eléctricos	Energía	21% taxis colectivos a 2050	100% taxis colectivos a 2050
Electro movilidad	Transporte público -RM	Energía	20% de buses en RM a 2050	100% de buses de transporte público urbano en Chile a 2040
	Transporte público Regiones	Energía	0% de buses en regiones no RM a 2050	100% de buses de transporte público urbano en Chile a 2040
	Vehículos particulares 60%	Energía	21% vehículos particulares a 2050	58% vehículos particulares a 2050
	Vehículos comerciales 60%	Energía	21% vehículos particulares a 2050	58% vehículos particulares a 2050
	Cambio modal transporte	Energía	Sin medidas asociadas	Disminución de transporte privado motorizado por cambio a buses y bicicletas
Hidrógeno	Transporte de carga	Energía	Sin medidas asociadas	71% en transporte de carga a 2050
	Usos motrices en industria y minería	Energía	Sin medidas asociadas	12% en usos motrices en industria y minería a 2050
	Uso térmico vía gasoductos	Energía	Sin medidas asociadas	7% en hogares y 2% en industria a 2050
Industria Sostenible	SST Industria y minería	Energía	Sin medidas asociadas	10% de usos térmicos en Industria y 16% en minería de cobre
	Electrificación motriz-resto minería	Energía	Sin medidas asociadas	52% en minería (no cobre) a 2050
	Electrificación motriz-industria	Energía	Sin medidas asociadas	67% en industrias varias a 2050
	Electrificación motriz-comercial	Energía	Sin medidas asociadas	56% en sector comercial a 2050
	Electrificación motriz-minería cobre	Energía	Sin medidas asociadas	57% en minas de rajo a 2050 y 74% en subterráneas a 2050

Descripción			Escenario de Referencia	Escenario de Carbono Neutralidad
Ámbito	Medida	Sector		
	Generación biogás	Energía	Sin medida asociadas	Rellenos sanitarios nuevos con centrales eléctricas
	Electrificación térmica	Energía	Sin medida asociadas	25% adicionales en usos térmicos en industria y minería
	Sistemas de Gestión de Energía	Energía	Ahorro anual de 0,6% para todo el periodo	Ahorro anual escalonado (0,6% a 2,5%)
	MEPS Motores hasta 100HP	Energía	Sin medida asociadas	Recambio de total de motores el 2030
No energía	Captura o uso de biogás de rellenos sanitarios	Residuos	Solo proyectos actuales	El año 2035 100% de los residuos domésticos urbanos son depositados en rellenos sanitarios con sistemas de quema o uso de biogás.
	Usos de lodos de plantas de tratamientos de aguas servidas, como bioestabilizador forestal	Residuos	Sin medidas asociadas	Nuevas plantas de tratamiento en la Gran Concepción y el Gran Valparaíso para 2035, con gestión del metano y uso de lodos
	Biodigestores de purines porcinos	Agricultura	Sin proyectos adicionales	Población porcina destina sus purines a biodigestores horizonte a definir
	Asistencia técnica al uso eficiente de fertilizantes	Agricultura	Sin medidas asociadas	Fomentar las buenas prácticas en el uso de fertilizantes nitrogenados

### Sectores no energía

La importancia relativa de estos sectores necesariamente irá creciendo respecto de las emisiones nacionales. Al año 2016, los sectores de Agricultura, Industrias y Uso de Productos y Residuos, representan el 21% de las emisiones, al año 2050 su participación se estima llegará a 36%. Los resultados en el escenario de neutralidad implican impactos significativos en IPPU y Residuos respecto de un escenario BAU y sin considerar la Enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal, y esto sin considerar un cambio de conducta importante en la generación de residuos, producido por el incremento de la conciencia y educación sobre la crisis climática.

En el sector agricultura se brindan opciones para reducir la magnitud de las emisiones y también mejorar la absorción de carbono. Estas opciones mejoran la productividad de los cultivos, el estado de los nutrientes del suelo, la gestión de los residuos orgánicos, el microclima o la biodiversidad y, por lo tanto, apoyan la adaptación al cambio climático. En el sector no fueron consideradas intervenciones a la demanda, modificaciones de la selección de alimentos, reducción de pérdidas y residuos de alimentos. Estas opciones también reducen las emisiones de GEI y mejoran la resiliencia de los sistemas alimenticios. Estas medidas en combinación con las medidas de mitigación en la oferta, pueden permitir la implementación de estrategias de adaptación y mitigación de gran escala sin amenazar la seguridad alimentaria que se produciría debido a una mayor competencia por la tierra para la producción de alimentos, y precios más altos.

En general, las opciones de mitigación de los sectores no energéticos no dependen de cambios tecnológicos ni de altos costos, sus dificultades radican, por un lado, en los cambios organizacionales y cambios de paradigma, y por otro, en plantear nuevas normativas y reglas que se enfrenten a los métodos tradicionales y que establezcan reglas donde antes no existían, forzando y educando una conducta climática más sostenible. En este escenario las acciones de mitigación pueden ser adelantadas, sin embargo, la atomicidad de los actores, la dificultad cultural arraigada, o el cambio de reglas en algunos servicios, pueden ser barreras complejas de sobrepasar.

### 7.4.4 Curvas de costo marginal de abatimiento

La curva de costo marginal de abatimiento o curva MACC, es un instrumento importante para la definición del conjunto de opciones de mitigación que da vida a los compromisos del país. Esta permite establecer una condición de prioridad y/o relevancia respecto del costo efectividad de cada una de las medidas evaluadas.

Para las 33 medidas evaluadas se realizó un análisis de indicadores, estos son el CAPEX (valor presente de los gastos de capital adicionales para implementar la medida), OPEX (valor presente de los gastos de operación para implementar la medida), reducción acumulada de emisiones de GEI, reducción anual de emisiones de GEI y costo marginal de abatimiento (US\$/tCO<sub>2eq</sub>). El costo de abatimiento se calcula como el valor presente de los costos totales dividido por la reducción total de emisiones de GEI. Este es uno de los indicadores de costos más comunes utilizados para comparar acciones de mitigación.

La mayoría de las medidas tendrían un costo de reducción negativo al 2050. Algunas de las medidas consideradas son acciones de eficiencia energética en procesos industriales de grandes industrias energéticas. Por ejemplo, los usos de electrificación móvil en la industria y la minería tienen un potencial de reducción de 3,3 MtCO<sub>2eq</sub> para 2050 y un costo de abatimiento negativo. Sin embargo, esta medida enfrenta barreras económicas relevantes para su implementación.

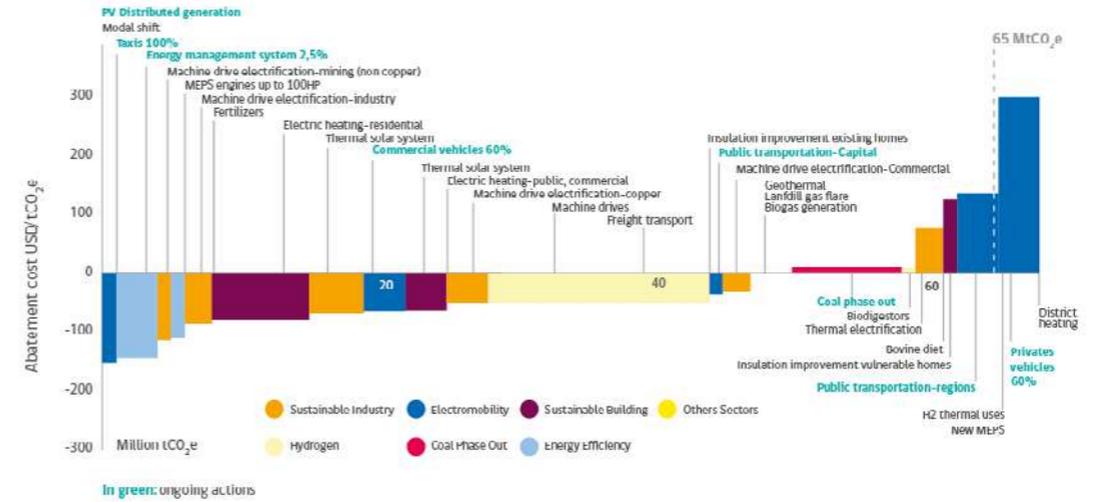
Las medidas de electrificación para vehículos privados, vehículos comerciales, taxis y autobuses eléctricos desempeñarán un papel importante para lograr la neutralidad de GEI. Se proyecta una reducción de emisiones de 10,2 MtCO<sub>2eq</sub> para estas medidas y un costo de abatimiento negativo y altamente rentable para usos comerciales o de alta actividad. El uso de hidrógeno producido a partir de fuentes de energía renovables para el transporte de carga también tendrá un papel importante en el logro de la meta neutralidad, y sería económicamente conveniente. Sin embargo, esta tecnología está en pleno desarrollo y se espera que sea comercialmente competitiva a partir de 2030.

El plan de descarbonización de la matriz eléctrica para 2040 reduciría 7,5 MtCO<sub>2eq</sub> para 2050, y aunque representa un costo de reducción positivo de 8 US\$/tCO<sub>2eq</sub>, puede ser la medida más relevante en el análisis, ya que la eliminación del carbón limpia la matriz eléctrica, habilitando las acciones que implican una mayor demanda eléctrica, al mejorar sus indicadores de costo abatimiento. Esto aplica, por ejemplo, a la industria sustentable (electrificación de usos motrices y térmicos), en electromovilidad (transporte público eléctrico y vehículos comerciales), hidrógeno (vehículos pesados y unidades de máquinas) y edificios sostenibles (calefacción eléctrica de espacios).

Otras medidas con un costo de abatimiento positivo son la rehabilitación térmica de viviendas, la electrificación de calderas y hornos del sector industrial, la promoción del transporte público y otros modos más eficientes, sistemas solares térmicos, entre otros. La siguiente figura presenta la curva de costos marginales de abatimiento obtenida.<sup>46</sup> (Palma et al, 2019).

46. Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological Approach and Supporting Ambition. Mitigation and Energy Working Group Report. Santiago: COP25 Scientific Committee; Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.

Figura 3: Curva de costos marginales de abatimiento



### 7.4.5 Carbono negro

En Chile, la urbanización ha alcanzado casi el 90%, y los efectos negativos sobre la calidad del aire sigue siendo un problema importante a pesar de una larga data de esfuerzos y logros, lo que fue reconocido por Chile en su NDC del año 2015. En ese momento, no se estableció un compromiso cuantitativo, pero poco después se desarrolló un primer inventario de emisiones para carbono negro, el que se presentó en la Comunicación Nacional de Chile del 2018. Estos esfuerzos permiten hoy presentar un objetivo cuantitativo de reducción de emisiones, de al menos un 25% de reducciones que se alcanzará el año 2030 respecto del 2016.

El compromiso de mitigación para carbono negro es consistente con el esfuerzo general de mitigación del sector energía comprometido por el país. Las acciones de mitigación consideradas en el análisis son coherentes con las medidas consideradas en el sector energía para la mitigación de otros gases de efecto invernadero, y se han evaluado considerando los patrones o trayectoria utilizados por el Ministerio de Energía.

Adicionalmente, a las medidas generales de mitigación de otros gases de efecto invernadero, se han evaluado medidas específicas de descontaminación ambiental y calidad del aire. Estas medidas se refieren principalmente al control de la quema de madera residencial, por medio de mejoras en la envolvente térmica de viviendas y edificaciones lo que se impulsa a través de nuevos estándares de construcción y aislamiento para casas nuevas y ya existentes, provocando una menor demanda de energía para calefacción. Otras medidas significativas se refieren a las normas de emisión de maquinaria fuera de ruta y a cambios tecnológicos y modales generales en el transporte. Por sobre este análisis, se evaluó un escenario más ambicioso con mayor intensidad en el planteamiento de las medidas específicamente enfocadas en reducir el carbono negro, considerando una mayor participación de calefacción distrital, y estándares más estrictos de emisiones de maquinaria fuera de ruta (Palma et al, 2019).

## 7.5 Consideraciones de justicia y ambición a la luz de las circunstancias nacionales

### 7.5.1 Mitigación

La contribución de mitigación respecto a las emisiones totales fue desarrollada considerando —como referencia— las recomendaciones de la ciencia, los objetivos del Acuerdo de París y los requerimientos que éste dispone respecto a los compromisos de mitigación. La propuesta de actualización representa una progresión y mayor nivel de ambición respecto al compromiso actual dado que:

- En comparación con la NDC de 2015, la que comprometía alcanzar niveles de emisiones anuales absolutas comprometidas al 2030 del orden de 123 MtCO<sub>2eq</sub> (correspondiente a la meta de intensidad incondicional de 30% de reducción al 2030 del indicador c/r 2007), esta nueva contribución compromete niveles de emisiones absolutas anuales de hasta 95 MtCO<sub>2eq</sub> al 2030.
- Es una meta incondicional, es decir, no está sujeta a condiciones externas habilitantes (grant).

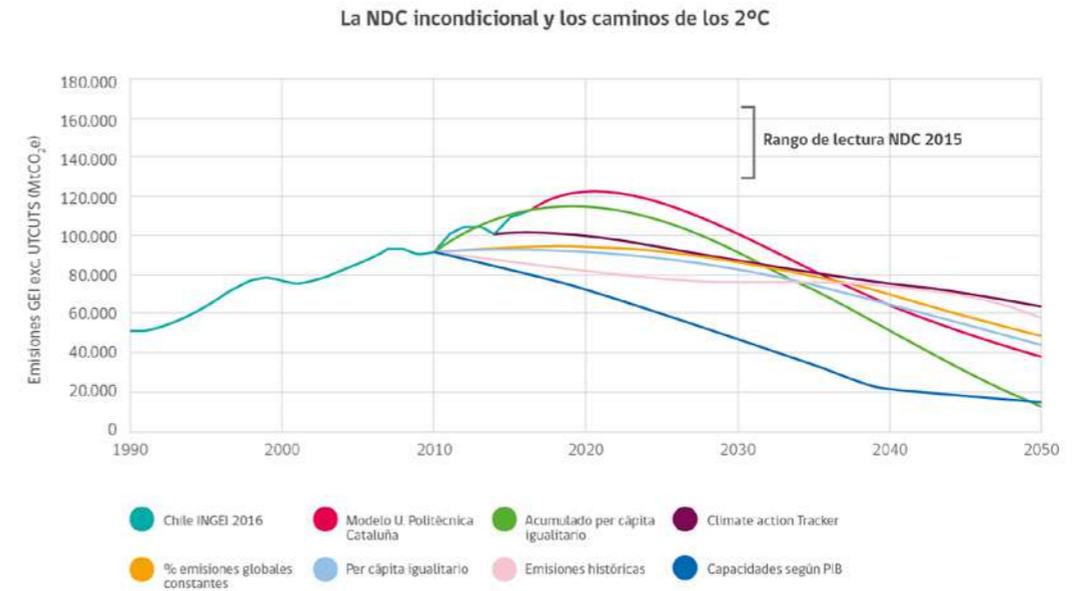
La meta contempla alcanzar un máximo de emisiones al 2025, demostrando el esfuerzo del país por considerar las recomendaciones de la ciencia, y la consistencia con lo requerido por el Acuerdo de París (artículos 2.1 y 4.1). El año peak se determinó a partir del ejercicio de modelación realizado, siendo clave la entrada efectiva de centrales renovables, las condiciones hidrológicas promedio y la entrada en funcionamiento nuevas líneas de transmisión.

- La actualización del compromiso de mitigación 2030, considera y se alinea, además, con la meta de neutralidad de GEI al 2050, incluida en el Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático.

- La actualización de la meta transversal responde además a los llamados a fortalecer la acción y ambición climática realizados por el Secretario General de Naciones Unidas durante la Cumbre de Alto Nivel 2018 y por los presidentes de la COP23 y COP24 a través de la declaración Talanoa Call for Action, del Diálogo de Talanoa. Llamado que Chile, en su rol de presidencia de la COP25 siguió impulsando con fuerza durante 2019 y 2020.
- En línea con lo requerido por el Acuerdo de París, el compromiso de Chile ya cuenta con cobertura nacional y alcance economy wide (artículo 4.4), mientras que la contabilidad y reporte de las emisiones considera el total de gases no considerados en el Protocolo de Montreal (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>), utilizando las más recientes metodologías disponibles (Directrices del IPCC de 2006).

Desde la perspectiva de justicia, la nueva meta contempla avances, respondiendo especialmente con los criterios de responsabilidad e igualdad. En la gráfica siguiente se compara nuestra actual NDC, con diferentes trayectorias en función de distintos criterios de fair share. De esta se desprende que la propuesta de emisiones absolutas entraría dentro de los rangos revisados.

Figura 4: Rango en el que distintos estudios sitúan el objetivo de la NDC chilena en relación a curvas obtenidas aplicando criterios de justicia climática. <sup>47</sup>



47. Alcaraz et al., "Elementos clave para incorporar justicia, desarrollo y ambición en una NDC", Grupo de Gobernanza del Cambio Climático integrado en el Grupo de investigación singular en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo de la Universidad Politécnica de Cataluña (2019).

### Agradecimientos

La presente actualización de la NDC contó con el valioso apoyo de las siguientes instituciones internacionales:



◀ **ESPAÑOL**  
SPANISH

**INGLÉS** ▶  
ENGLISH

◀ **ESPAÑOL**  
SPANISH

**INGLÉS** ▶  
ENGLISH

## Nacional

Jueves 27 septiembre de 2018 | Publicado a las 13:34 · Actualizado a las 18:02

# Piñera aborda en la ONU su plan para "cambiar la historia" de Quintero y otras zonas de sacrificio

Publicado por: **Yerko Roa**

 1642 visitas

El presidente Sebastián Piñera explicó ante la Organización de Naciones Unidas (ONU) las acciones del Gobierno en medio de la crisis en Quintero y Puchuncaví, que ya lleva cerca de 800 consultas de personas con síntomas de intoxicación. El mandatario recordó su visita a la zona: "Ese día ratificamos un compromiso con nuestros compatriotas: cambiar la historia de esas dos localidades".

Desde el 21 de agosto pasado, cuando ocurrió la primera intoxicación masiva, y hasta esta misma jornada, han llegado cientos de personas hasta el hospital de Quintero acusando síntomas como mareos y vómitos.

En medio de su alocución este jueves, Piñera contó a la Asamblea General sobre este episodio. "En las últimas semanas, dos comunas de nuestro país, Puchuncaví y Quintero, que son zonas que llevan mucho tiempo saturadas de contaminación, sufrieron episodios de contaminación ambiental, que afectaron la salud de muchos de nuestro compatriotas", aseveró el presidente.

El mandatario recordó también su polémico paso por la zona, en que vecinos lo intentaron agredir, aunque no hizo referencia a ese hecho en particular.

"Dada la gravedad de la situación, visité inmediatamente la zona afectada para reunirme con las autoridades y con las comunidades, y poder ver y sentir con mis propios ojos y sentidos, los efectos dramáticos que esta catástrofe estaba significando", dijo Piñera.

El presidente recordó su compromiso para que no existan zonas de sacrificio en Chile. "Ese día ratificamos un compromiso con nuestros compatriotas: cambiar la historia de esas dos localidades y de muchas

otras, de forma tal de poner en marcha un plan para superar la situación de emergencia y proteger la salud de sus habitantes, pero también hacernos cargo de una solución definitiva", aseguró.

Entre las medidas, Piñera mencionó un monitoreo permanente con los "mejores estándares tecnológicos disponibles", las normas extraordinarias de emisión de gases y un "plan completo de descontaminación".

"(El plan) nos va a permitir terminar con estas situaciones y lograr una solución definitiva que termine con lo que en nuestro país se ha denominado zonas de sacrificio", agregó Piñera.

A las 00:00 horas de hoy jueves, precisamente, empezaron a regir las paralizaciones parciales de las faenas de las empresas del cordón industrial. Pese a ello, hasta las 13:00 horas habían llegado cerca de 30 personas acusando síntomas de intoxicación al hospital de Quintero.



Brigada Investigadora de Delitos Contra el  
Medio ambiente y Patrimonio Cultural Valdivia  
vcl

Informe Policial N° 67/12020

Valdivia, 01.MAR.2014.

A LA  
FISCALIA LOCAL DE  
TALCAHUANO /  
Fiscal Adjunto Doña Ana María ALDANA SAAVEDRA.-

MINISTERIO PÚBLICO  
RECEPCIONADO

22 ABR 2014

I.- ANTECEDENTES DEL PROCEDIMIENTO INVESTIGATIVO

Orden : Oficio N° 4548/2013. Orden de Investigar.  
Tipo de Orden : Escrita.  
Fecha de la Orden : 19.DIC.2013.  
Fecha de recepción en la unidad : 06.ENE.2014.  
Delito : Infracción Ley 18.892 de Pesca  
Instrucciones : Practicar aquellas diligencias de investigación necesarias para consignar y asegurar todo cuanto condujere a la comprobación del hecho investigado y a la identificación de los participantes en el mismo.

En particular, se sugiere la práctica de las siguientes diligencias:

Enviar a esta Fiscalía Local, todas aquellas diligencias que hubieren sido cumplidas por personal de vuestra Unidad y que aún no han sido remitidas a esta Fiscalía Local en esta investigación y sus causas agrupadas, lo que implica investigación respecto de ambientes termoelectricas de Coronel, varazón de crustáceos, etc, incluyendo instrucciones u órdenes tanto verbales como por escrito.

R. U. C. : 1200530126-0./

II.- DILIGENCIAS

Conforme a las diligencias de investigación que se han venido efectuando por causas de contaminación ambiental, en la Bahía de Coronel, VIII Región del Bío Bío, desde el mes de Junio del año 2012, a consecuencia de los procesos industriales de centrales Termoelectricas emplazadas en dicho lugar, cuyos resultados han sido informados por esta Unidad Especializada a esa Fiscalía Local, mediante Informes Policiales N° 167, de fecha 27.AGO.2012; N° 57, de fecha 08.MAR.2013 e Informe Policial N° 154, de fecha 28.JUN.2013, éste último referido a investigación de varazón de recursos hidrobiológicos, específicamente de crustáceos en parte del Golfo de Arauco encontrados en mayor concentración en la orilla del mar de la Bahía de Coronel,

Durante el proceso de esta investigación, se han presentado diversas variables ambientales, que se han ido desarrollando con parte de una línea investigativa, por lo que la información que a continuación se expone, es parte integral de las diligencias que se fueron ejecutando y la información que fue solicitada en su oportunidad, a organismos administrativos con competencia en esta materia, así como a las propias empresas generadoras de electricidad térmica motivo de investigación y que fueron señaladas en los informes policiales precedentemente descritos, siendo dable indicar la oportuna recopilación y entrega en lo que respecta a antecedentes, por parte de una de las centrales Termoeléctricas.

Primeramente, en respuesta a oficio N° 93, de fecha 04.MAR.2013, se recepcionó con fecha 26.MAR.2013, oficio (o) N° 12.600, de la Gobernación Marítima de Talcahuano, referido a las fuentes emisoras sometidas al D.S. SEGPRES N° 90/2000, y que actualmente descargan en la Bahía de Coronel. Lo anterior, permitió al equipo investigador conocer y concurrir a las distintas empresas autorizadas que descargan residuos industriales líquidos en la Bahía de Coronel, a fin de descartar o establecer, si existen otros rubros industriales en la zona que pudiesen descargar elementos químicos concordante a los que eliminan las empresas Termoeléctricas de la zona, conforme también a los análisis y resultados de laboratorio indicados en los Informes Periciales Medioambientales Institucionales.

**Se adjunta oficio N° 12.600, sin fecha, de la Gobernación Marítima de Talcahuano, en Anexo N° 01.-**

Con fecha 01.ABR.2013, siendo las 11:20 horas, se presentó en forma voluntaria a fin de tomar declaración policial, conforme a la solicitud de antecedentes previos solicitados por el suscrito, respecto al uso de elementos químicos que utiliza la central Termoeléctrica Santa María en Coronel como método antiincrustante en las tuberías de aducción de agua de mar realizándose dicha entrevista en dependencias de la Prefectura Provincial de Valdivia, ubicada en Avenida Ramón Picarte N° 2582, Valdivia, a don **Abdó Karim AZAT RABAH**, Chileno, nacido en Presidente Ríos, el 01.SEP.1972, Cédula Nacional de Identidad N° 12.279.484-2, Casado, Ingeniero Civil Especialista Químico de la empresa Colbún S.A., quien apercibido por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal y en compañía del abogado representante de la central Termoeléctrica Santa María de Colbún S.A., Alberto AGUILERA APABLAZA, señaló lo siguiente:

"Hemos venido en forma voluntaria a esta Prefectura Provincial de Valdivia, en conformidad a una información solicitada hace un tiempo atrás por personal de la PDI, respecto de los procesos de nuestra Central Termoeléctrica Santa María, emplazada en la ciudad de Coronel".

"Respecto del sistema de producción de Hipoclorito a partir del agua de mar, debo señalar que para los usos de impedir la incrustación de suciedad en las tuberías de succión de agua de mar e impedir la falla de los equipos que están en contacto con el agua de mar y favorecer la operación continua de la central, utilizamos el producto químico denominado Hipoclorito (ClO) el cual se obtiene directamente del agua de mar de la Bahía de Coronel".

"Como es sabido el agua de mar, contiene sal (Na Cl) y a través de una activación eléctrica, logramos separar los dos átomos que conforman la molécula de sal y obtener de esta forma el Hipoclorito. La activación

"Del resultado, se obtiene el Hipoclorito que es almacenado en un estanque, desde el cual es suministrado, a través de bombas dosificadoras, hasta la succión de agua de mar para la central, este químico se va suministrando continuamente mientras la central este en operación, esto es un volumen de 50 kilos de Hipoclorito por hora, siendo su concentración de 2000 ppm, la dosificación es controlada y monitoreada a través de una PLC (controlador lógico de posiciones)".

"Es dable señalar que efectivamente los tanques de almacenamiento de Hipoclorito, se encuentran en el área de bombas de succión de agua de mar, pero la inyección del producto químico, se realiza desde el principio de la tubería de inyección, mediante bombas dosificadoras, logrando con ello que el efecto ocurra desde el comienzo, siendo el punto de inyección de una zona de presión negativa, es decir, que en ese punto el agua de mar y el Hipoclorito, van hacia el interior de la Central y bajo ninguna circunstancia se devolvería hacia el mar. Ahora, si las bombas que succionan el agua de mar se detienen, el PLC ordena detener la dosificación de Hipoclorito".

"Como todo proceso, se genera un residuo y en esta caso corresponde a salmuera, es decir simplemente agua con sal concentrada, siendo su volumen de 50 kilos hora de salmuera, el que es devuelto al mar en el mismo punto de dosificación del Hipoclorito, dando la vuelta completa por el circuito, saliendo al mar por la descarga final".

"Ahora bien, la empresa utiliza este método en desmedro de la opción más económica que sería comprar Hipoclorito de Sodio (Na Cl O) porque es ambientalmente inocuo y mucho más seguro del punto de vista de seguridad laboral, desde el punto de vista ambiental no estamos agregando un químico ajeno al agua de mar, sino que estamos reconvirtiendo, el mismo Cloro que ya existe en el agua de mar y que finalmente vuelve a su estado natural, en la descarga final y desde el punto de vista seguridad, el transporte, almacenamiento y un eventual derrame de Hipoclorito de Sodio, es de alto riesgo por su capacidad tóxica".

"Si utilizáramos Hipoclorito de Sodio industrial, su comercialización es de una concentración de 100.000 ppm y no de 2000 ppm, como el que se prepara a partir de agua de mar, esto significa que el riesgo de derrame de Hipoclorito no provocaría absolutamente ningún daño, no es tóxico, en cambio el Hipoclorito de Sodio comercial si es muy riesgoso, ambientalmente y laboralmente, y el volumen de dicho producto sería mucho menor, solo 1 kilo por hora, esto en razón a que es muy fuerte".

"El ejercicio anterior, se realiza multiplicando los 50 kilos por 2000 ppm, lo que nos arroja como resultado 100.000 miligramos por hora; en tanto que el otro caso, como la concentración es de 100.000 ppm, basta agregar tan solo un kilo por hora".

"De igual forma, el sistema que nosotros tenemos requiere de equipos mas grande en bombas y en almacenamiento, por lo tanto de una inversión muy alta, correspondiente a una tecnología europea, no existente en el mercado local".

"Lo que descargamos nosotros, el efecto ocurre dentro de las instalaciones y la descarga hacia el mar es monitoreada continuamente por nosotros las 24 horas del día arrojando resultados de cloro

central, documento original en el idioma inglés, aunque el proveedor es de origen Italiano”.

Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 02.-

Se adjunta documento técnico en inglés de equipo “Chloropue”, utilizado por la empresa Termoeléctrica Santa María, separador de átomos de la molécula de sal, en Anexo N° 03.-

De igual forma, y a modo de complementar la información solicitada por el suscrito, con fecha 01.ABR.2013, siendo las 12:25 horas, en dependencias de la Prefectura Provincial Valdivia, ubicada en Avenida Ramón Picarte N° 2582, Valdivia, se procedió nuevamente a tomar declaración policial voluntaria a don **Abdel Karim AZAT RABAH**, Chileno, nacido en Presidente Ríos, el 01.SEP.1972, Cédula Nacional de Identidad N° 12.279.484-2, Casado, Ingeniero Civil, Especialista Químico de la empresa Colbún S.A., quien apercibido por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal y en compañía del abogado representante de la central Termoeléctrica Santa María de Colbún S.A., don Alberto AGUILERA APABLAZA, señaló lo siguiente, respecto de la metodología en laboratorio utilizada por la empresa, para detectar concentraciones de metales pesados en las muestras de carbón y cenizas, como resultado de su proceso industrial:

“Hemos venido en forma voluntaria a esta Prefectura Provincial Valdivia, en conformidad a una información solicitada hace un tiempo atrás por personal de la PDI, respecto de los procesos de nuestra Central Termoeléctrica Santa María, emplazada en la ciudad de Coronel”.

“Ahora bien, a razón de la visita de inspección realizada por personal de la PDI, a nuestra Central Termoeléctrica Santa María de Coronel, en el mes de enero del presente año, ocasión en que se tomaron muestras del carbón utilizada por la empresa y muestras de cenizas como residuo resultante, nosotros decidimos tomar contramuestras, en esa misma fecha en los mismos puntos o lugares donde los tomó peritos de la PDI, los que fueron enviados al laboratorio acreditado CESMEC, en la ciudad de Santiago, las que fueron enviadas los días posteriores, con la finalidad de que se determinen la presencia de algunos metales pesados, que pudiesen estar presentes”.

“Los resultados fueron formalizados en un informe, identificado con la sigla SQC- 25655, de fecha 12.MAR.2013, de ese Laboratorio, donde fueron analizados las concentraciones de Arsénico; Mercurio; Cadmio; Niquel y Vanadio, tanto para cenizas como carbón, siendo tres muestras de carbón y una de ceniza”.

“Los resultados arrojaron valores inferiores a los límites mínimos de detección posible, es decir no identificado por el método de análisis, en particular el análisis de todos los metales, se realizó a través del método de ensayo, Norma Chilena 2754, of. 2003, que corresponde al método estandarizado u oficial, según en Instituto Nacional de Normalización Chilena, el que es equivalente al método de ensayo Test TCLP – EPA 1311 (Agencia de Protección de Medioambiente de los EEUU) cuya metodología consiste en digerir completamente la muestra a través de la adición de ácidos fuertes, para eliminar los elementos que hacen interferencias en la identificación de los elementos que interesan conocer, posteriormente, la muestra residual es sometida a absorción atómica, en un equipo de espectrofotometría de llama, que finalmente identifica la presencia del elemento y la cuantifica”.

de transporte de cenizas; en tanto que las muestras denominadas como M-2; M-3 y M-4, corresponden a muestras de carbón, tomadas en las mismas ubicaciones donde tomó personal de la PDI esto es, en la cancha de acopio del carbón que utiliza la empresa".

"La tabla del informe señalado, correspondiente al número 2.1.1, se explica para cada uno de los metales pesados analizados, el método de ensayo analizado y el límite de detección para cada método, es dable indicar que en el caso particular del Mercurio, la norma exige que además de absorción atómica, la muestra debe ser analizada a través del método conocido como vapor frío, por cuanto el Mercurio es el metal que se volatiliza a menor temperatura. En tanto que la tabla denominada en el informe, como 4.1.1., indica los resultados de análisis, para todas las muestras en cada uno de los metales ensayados".

"Por otra parte, deseo indicar que habiendo observado durante la inspección de la PDI, del presente año en nuestra Central Termoeléctrica, que se utilizó un equipo portátil de medición, correspondiente a una tecnología de Inluorecencia de rayos X, que dicho sistema, es un método proximal y no analítico, por cuanto sus resultados son cualitativos y no cuantitativos, esto quiere decir que los resultados entregados por ese equipo, son de carácter referencial y deben ser confirmados, a través de un ensayo de laboratorio, que utilice un método estandarizado".

"Finalmente, hacemos entrega de los resultados del Laboratorio CESMEC, para las muestras descritas".

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 04.-**

Conforme a los antecedentes aportados por el entrevistado, el Informe de análisis químico SQC-25655, de fecha 12.MAR.2013, de la empresa Cesmec, solicitado por COLBÚN S.A., y que dicen relación a cuatro muestras entre cenizas y carbón, se establece un método de ensayo de acuerdo a la norma Chilena NCh 2754. Of. 2003 (Test TCLP – EPA 1311) y cuyos resultados indican que para los metales analizados se encontrarían bajo la concentración máxima permisible.

**Se adjunta Informe de análisis químico SQC-25655, de Cesmec, en Anexo N° 05.-**

Por otra parte, con fecha 01.ABR.2013, siendo las 12:25 horas, en dependencias de la Prefectura Provincial Valdivia, ubicada en Avenida Ramón Picarte N° 2582, Valdivia, en conformidad a antecedentes previos solicitados por el suscrito, se procedió a tomar declaración policial voluntaria a don **Cristian Mauricio BELMAR BRAVO**, Chileno, nacido en Los Ángeles, el 05.SEP.1972, Cédula Nacional de Identidad N° 11.963.070-3, Casado, Ingeniero Mecánico, Jefe de Operaciones central Termoeléctrica Santa María, quien apercibido por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal y en compañía del abogado representante de la central Termoeléctrica Santa María de Colbún S.A., don Alberto AGUILERA APABLAZA, señaló lo siguiente, respecto de la metodología en el manejo del carbón, que utiliza la planta generadora de electricidad Santa María:

"Hemos venido en forma voluntaria a esta Prefectura Provincial Valdivia, en conformidad a una información solicitada hace un tiempo atrás por personal de la PDI.

"Ahora bien, respecto del manejo del carbón que ocupa la central Santa María, debo indicar que proviene de la cinta transportadora del puerto de Coronel y se transfiere a otra correa que a través de un carro la distribuye en la cancha de carbón, desde allí el carbón es distribuido y compactado a través de cargadores frontales y bulldózer, permitiendo la compactación del carbón en un punto determinado de la cancha, desde ahí es enviado a una nueva cinta e ingresado a los silos de carbón, se almacenan los embarques de carbón como pilas diferenciadas, con la finalidad de ir analizando los carbones que llegan, para tener un mejor control, es dable indicar que la capacidad de la cancha de acopio de carbón es de 200.000 toneladas".

"El carbón para su utilización, se muele y se pulveriza para inyectarlo en la caldera, donde se queman, del resultado de la quema del carbón, se obtiene ceniza volante y de fondo, las cuales se retiran desde los silos dedicados a eso, a través de camiones, los cuales disponen de un sello hermético que evita cualquier fuga del material, incluso en volcamiento, con lo que se elimina el riesgo de un derrame en la ruta, trasladándose a una cancha de acopio de cenizas, ubicado a unos 14 kilómetros de la central".

"El volumen de cenizas que sacamos diarios, es de 350 toneladas, equivalente al 10 o 12% del total del carbón consumido diariamente, cancha que se empezó a utilizar a fines del año 2011, cuando empezó el periodo de pruebas con carbón".

"Respecto de la cancha de acopio de carbón, esta tiene aprobada su resolución de calificación ambiental, terreno perteneciente a la empresa. Es importante, señalar que en dicho lugar existe una romana, para controlar que la cantidad de cenizas que sale de la central sea la misma que entra en la cancha de acopio, luego se deposita la ceniza en la cancha de acuerdo a una distribución regulada. Ahora bien, el área de depósito está constituido por un conjunto de capas que imposibilitan cualquier filtración del material depositado, existiendo en una zona de compactación del terreno, una primera capa de geotextil, luego capas de alfombras drenantes, de 0,5 metros, luego viene otra capa geotextil, luego una capa impermeable de 0,3 metros, luego viene una geomembrana de polietileno de alta densidad, luego una alfombra drenante y finalmente otra capa geotextil, desde ahí se empieza a rellenar dicha área con la ceniza. El proyecto tiene una capacidad de ir construyendo terrazas, en este terreno que se estima tiene una capacidad para treinta años".

"El sitio tiene canales para la captación de aguas de no contacto (lluvias o aguas de escorrentías) y las de contacto, que son aguas que caen directamente al área de acumulación, las cuales son canalizadas a través de canales de hormigón y que de ahí derivan a una planta de tratamiento, que dispone de cámaras de coagulación con Cloruro ferrico, cámara de floculación, decantador y filtro, desde ahí son enviadas a un pileta de aguas lluvias y desviadas a un ducto hacia la cuenca, las que son monitoreadas trimestralmente, después del filtro, conforme a la norma Chilena para agua de riego, las cuales han cumplido a la fecha con dicha norma y nunca hemos detectado algún tipo de infiltración, a través de los puntos de control de agua subterránea, existente en la cancha, que sería en un punto anterior y posterior de dicha cancha".

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 06.-**

Con fecha 01.ABR.2013, siendo las 13:30 horas, se realizó la consulta de la personas indicadas precedentemente, en el sistema computacional e Institucional de Gestión Policial, donde no registra antecedentes policiales de detenciones anteriores ni encargos judiciales pendientes.

Con fecha 12.ABR.2013, se recepcionó oficio (o) N° 9530 E, de fecha 03.ABR.21013, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Región del Bío Bío, en respuesta a diversas consultas realizadas mediante oficio N° 33, de fecha 21.ENE.2013, de esta Unidad Policial, de lo que se resume lo siguiente:

A) Respecto a visitas de Inspección de ese Servicio a las Centrales Termoeléctrica en Coronel:

Con fecha 27.MAR.2013, se inspeccionó las centrales termoeléctricas Santa María de COLBÚN y Bocamina II de ENDESA, en el contexto de la varazón de Langostino colorado.

A.1) Central Termoeléctrica Santa María: *Se dio énfasis a los sistemas de enfriamiento de agua de mar; sala de filtros ubicada en el Puerto de Coronel. Se observó Langostino, los que ingresaron al sistema a través del ducto de captación y que fueron retenidos en el filtro de tambor rotatorio de trama aprox. 5 mm, los que son derivados por un canal hacia un canastillo de aprox. 1000 lt. De capacidad, donde se observó Langostino colorado moribundo, aproximadamente 200 litros. Para el proyecto todos los organismos que quedan retenidos en el sistema de filtro son considerados residuos sólidos y son enviados a relleno sanitario. (La central Santa María, entrega antecedentes a este Servicio administrativo, al igual que lo solicitado por el suscrito, de un ingreso de 4.2 toneladas de Langostino colorado *Pleuroncodes monodon*, para el mes de marzo del 2013).*

A.2) Central Termoeléctrica Bocamina II: *Se inspeccionó canal de devolución de organismos al mar, el cual a simple vista se apreciaba con gran cantidad de ejemplares de Langostinos; se visitó el canal de descarga de Bocamina I (este transportaba los Langostinos del canal de devolución) y Bocamina II, desde donde se observó el sector playa con pequeños manchones de Langostinos varados.*

*Se visitó la sala de filtros, donde se observó la rejilla la cual no estaba reteniendo elementos de ningún tipo, el tambor rotatorio no se pudo observar.*

*Se indica, que el señor David Poblete, encargado ambiental, informó verbalmente que desde que comenzaron los eventos de succión de Langostino, no estaban adicionando cloro para no dañarlos, pero al inspeccionar las mediciones de cloro en línea, se observó un registro de 0.35 ppm, debido a ello el encargado ambiental hizo una serie de llamadas donde los operarios le informaron que se estaba adicionando cloro.*

**Se adjunta oficio (o) N° 9530 E, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, de la Región del Bío Bío, en Anexo N° 07.-**

Con fecha 12.ABR.2013, se recepcionó copia informativa de Informe Pericial Medioambiental (O) N° 42, de fecha 05.ABR.2013.

antecedentes que fueron remitidos directamente a esa fiscalía local, referidos a la inspección y toma de muestras líquidas, entre otros lugares de los pozos de agua subterránea que se encuentra aguas arriba y aguas abajo del relleno de cenizas del complejo Termoeléctrico Bocamina y sedimento de cenizas de la Planta Bocamina y Santa María, en las distintas áreas del proceso productivo de interés criminalístico, de las centrales termoeléctricas emplazadas en la ciudad de Coronel, de lo anterior es dable destacar que:

- Todas las muestras de cenizas analizadas de ambas centrales Termoeléctricas, poseen en su composición, metales pesados en concentraciones tóxicas como el Mercurio.
- Las muestras de carbón de ambas centrales, poseen menores concentraciones de metales pesados, que los encontrados en las cenizas provenientes de su combustión.
- Las algas levantadas desde la playa Cuatro, esto es al norte de la Bahía de Coronel, presentaron niveles de 1.8 mg/Kg de Hg, a diferencia de las observaciones presentadas en el Informe Pericial N° 150, del 10.AGO.2012, en que se observaron concentraciones casi 10 veces superiores. (Habría que revisar si se refiere este punto a muestras de este recurso en esta misma área o en otra distinta de la Bahía de Coronel).
- Los efluentes de ambas centrales, cumplen con los parámetros de temperatura y pH medido in situ, respecto de lo establecido en la tabla N° 4, del D.S. 90.
- La muestra de control de suelo del sector Schwager, presentó altos niveles de Cromo y Vanadio, respecto de la Norma Ambiental Canadiense, para suelos residenciales. La muestra de suelo en ese sector, posee alta correlación con la composición de cenizas del relleno de la central Bocamina, por lo que se verifica la influencia de éstas en el sector.
- Las aguas de los pozos subterráneos en el sector del depósito de cenizas, de la central Bocamina, posee altos niveles de sales disueltas, lo que puede tener efectos adversos en cultivos si se utilizara dicha agua subterránea, éstos niveles no se encuentran en el pozo control aguas arriba de la cancha de acopio de cenizas.
- Se observó contaminación por Mercurio en las aguas subterráneas del pozo ubicado aguas abajo del acopio de cenizas de la central Bocamina, en mas de 10 veces lo establecido por la norma Chilena NCh 1333, de riego. Contaminación de las aguas subterráneas, lixiviación de este metal desde la cancha de acopio de ceniza, hacia las napas freáticas, por cuanto en el punto de control aguas arriba, no se observó niveles detectables de ese elemento. De igual forma, existe contaminación de Sulfatos en las aguas subterráneas, detectadas en los pozos agua abajo del relleno de cenizas, sulfatos que provienen del yeso (sulfato de calcio) que se deposita junto con la ceniza del proceso.
- Las cenizas generadas por la central termoeléctrica Bocamina, superan las concentraciones máximas permisibles de Cromo y Mercurio y las cenizas generadas por la central termoeléctrica Santa María, superan las concentraciones máximas permisibles de Cromo, Mercurio y Selenio, establecidas en el artículo 14 del Decreto Supremo 148, por lo que correspondería a residuos peligrosos extrínsecos, lo anterior, significaría someter dichos residuos a una disposición diferente de la actual.

**Se adjunta Informe Pericial Medioambiental N° 42, de fecha 05.ABR.2013, en Anexo N° 08.-**

Con fecha 15.ABR.2013, se recepcionó documentación solicitada mediante correo electrónico de fecha 31.ENE.2013, al señor Alberto AGUIFRA APARÍAZA, abogado representante de la

proveedores de carbón utilizado para la combustión (origen y caracterización); toneladas de carbón utilizado para combustión/hora; toneladas de cenizas producidas por combustión/hora; permisos sectoriales de vertedero de cenizas; ficha técnica de membranas impermeabilizantes en vertedero de cenizas; resultados de análisis de aguas subterráneas en vertedero de cenizas; proceso de manejo de carbón y cenizas e Ingeniería de camiones de transporte de cenizas y de los sitios donde se depositan éstos.

**Se adjunta acta de entrega voluntaria de objetos y/o documentos en Anexo N° 09.-**

En este mismo contexto se hizo entrega de información adicional a la no solicitada, que se adjunta al presente Informe Policial, siendo uno de éstos el informe preparado a Colbún S.A., por la consultora ambiental "Mejores Prácticas Asociados SpA" denominado "verificación de cumplimiento normas de emisión de Mercurio en la Central Santa María" cuyo estudio hace referencia a verificar el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable a la central Termoeléctrica Santa María, a saber las exigencias sobre el contenido de mercurio en el carbón; normativa aplicable a efluentes líquidos y a la peligrosidad de las cenizas, entre otros.

Los antecedentes del estudio indicado, difieren en parte en la metodología utilizada y en los resultados señalados en los Informes Periciales Institucionales, por cuanto en el informe a que se hace referencia, se concluye que los valores detectados en las cenizas volantes, estarían muy por debajo de los valores que transformarían a las cenizas en residuos peligrosos; que las concentraciones de mercurio presente tanto en los efluentes líquidos como en las cenizas se encuentran en cantidades muy inferiores a lo que se establece como límites máximos en la normativa aplicable.

Es dable señalar que, en dicho informe se menciona que se enviaron las muestras al laboratorio del Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción, para el análisis de agua de mar, carbón y cenizas, siendo el método utilizado el de espectroscopía de absorción atómica por vapor frío, mediante mercuriometro, metodología que reduce el mercurio en la muestra, para formar vapor de mercurio elemental usando un reductor, toda vez que dicha metodología permitiría la detección del elemento con límites menores a 0.5 ppb (partes por billón).

**Se adjunta copia de Informe de verificación de cumplimiento normas de emisión de Mercurio en la Central Santa María, en Anexo N° 10.-**

**Se adjunta copia de Informe de Ensayo SE1300229, de fecha 28.MAR.2013, de Laboratory Manager, en Anexo N° 11.-**

**Se adjunta resumen de antecedentes aportados por el Abogado Alberto AGUILERA APABLAZA, en Anexo N° 12.-**

Con fecha 23.ABR.2013, siendo las 10:20 horas, en dependencias de la Prefectura Provincial Valdivia, ubicada en Avenida Ramón

del Juzgado Penal y en compañía del abogado representante de la central Termoeléctrica Santa María de Colbún S.A., don Alberto AGUILERA APABLAZA, señaló lo siguiente:

"Hemos venido en forma voluntaria a esta Prefectura Provincial Valdivia, en conformidad a información solicitada hace un tiempo atrás por personal de la PDI, respecto de los procesos de nuestra Central Termoeléctrica Santa María, emplazada en la ciudad de Coronel".

"Ahora bien, los antecedentes que se adjuntan mediante presentación de fecha 15.ABR.2013, incluido en los informes de Laboratorio, en relación a las concentraciones de Mercurio, puedo afirmar lo siguiente:

"La planta termoeléctrica Santa María no arroja metales pesados al mar, por cuanto por ejemplo todo el Mercurio que entra a la planta queda en la ceniza, ya que la única vía de entrada de aquel elemento se encuentra en el carbón, cuya disposición final a través de un procedimiento riguroso de manejo es depositado en la cancha de acopio o disposición de ceniza, la cual tiene su propio permiso ambiental".

"El diseño de ingeniería de la cancha acopio de las cenizas, no permiten ningún tipo de filtración de material hacia las napas freática".

"Los informes de laboratorio mas los certificados de origen del proveedor con sus respectivos informes de laboratorio, acreditan fehacientemente que los niveles de Mercurio presente en el carbón y en las cenizas, son a nivel de trazas, es decir apenas detectables, mediciones que se realizaron a través de procedimientos científicos en laboratorio y no mediante instrumental de campo y bajo las normas internacionales y de la agencia Norteamericana de Medioambiente EPA".

"Por otra parte, deseo señalar que la información solicitada y aportada, se logró reunir mediante un extenso trabajo de recopilación y análisis de la información disponible y la misma da cuenta que la planta Santa María cumple en cabalidad los requerimientos de la autoridad ambiental".

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 13.-**

Por otra parte, se informa a dicha Fiscalía Local, que a continuación de la declaración policial voluntaria, se adjunta al presente Informe Policial, diversos anexos referidos a los registros de autocontroles de monitoreo de temperatura en la descarga; monitoreo autocontrol descarga de residuos industriales líquidos; informes de emisiones atmosféricas; manejo del carbón y cenizas; diseño de camiones y planos constructivos de los mismos, toda la información entregada por la empresa termoeléctrica Santa María de Colbún S.A., antecedentes que fueron analizados a petición del suscrito por el perito ecólogo Cristian QUILODRAN ROJAS, del Laboratorio de Criminalística Central y que serán descritos posteriormente, en el presente Informe Policial, en virtud al Informe Pericial Medioambiental N° 110 de fecha 14.AGO.2010.

En conformidad a la información entregada por la Gobernación Marítima de Talcahuano, en oficio N° 12.600, no indica fecha, respecto de las fuentes emisoras sometidas al D.S. 90/2000, que descargan residuos industriales líquidos en la Bahía de Coronel, el suscrito en compañía del Subinspector José LEAL FIGUEROA, de la Brigada de Investigación Criminal Coronel, concurren con fecha 09.MAY.2013, a industrias pesqueras y de aguas servidas emplazadas en la ciudad de Coronel, a fin de evaluar en terreno la posibilidad de tomar muestras de agua de sus efluentes de descarga al mar, como método comparativo respecto de los efluentes de descarga de las centrales motivo de investigación y tomar declaración policial voluntaria a los encargados de dichas industrias. Es así que, con fecha 09.MAY.2013, siendo las 16:35 horas, en dependencias de la empresa Blumar Seafoods, ubicada en calle Carlos Prats N° 60, de la ciudad de Coronel, se procedió a tomar declaración policial voluntaria a don **Blas Héctor RODRIGUEZ PEREZ**, Chileno, nacido en Talcahuano, el 28.JUN.1957, Cédula Nacional de Identidad N° 6.489.537-0, Casado, Ingeniero eléctrico, domiciliado en calle Carlos Prats N° 60, Coronel y quien apercibido por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal, voluntariamente expuso lo que a continuación se transcribe:

"Respecto a lo que se me consulta, soy el jefe de la planta harina Coronel, de la empresa Blumar Seafoods, elaboradora de harina y aceite de pescado desde el año 1986".

"Por otra parte, indicar que actualmente la planta se encuentra completamente detenida, por cuanto existe una merma importante de recurso pesquero en la zona, este recurso corresponde a sardina y anchoa, también mote en menor cantidad. Por esta razón, actualmente no estamos evacuando residuo industrial líquido de ninguna índole al mar, desde el día 08 de Abril del presente año".

"Existen dos succiones de agua de mar y un emisario al mar, el residuo industrial líquido de enfriamiento es de agua de mar, cuyo volumen es de 800 m<sup>3</sup>/hora y la planta evacua 100 m<sup>3</sup>/hora de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Este residuo industrial líquido corresponde también a agua de mar y es sometido al D.S. 90, desde el año 2000 que existe ese decreto".

"Finalmente, se estima que la planta empiece a funcionar en el mes de marzo del año 2014, ya que se abre la temporada de pesca".

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 14.-**

Seguidamente, con fecha 09.MAY.2013, siendo las 17:15 horas, en dependencias de la empresa Food Corp Chile S.A., ubicada en calle Pedro Aguirre Cerda N° 995, lo Rojas, Coronel, se procedió a tomar declaración a doña **Gloria Andrea RODRIGUEZ DELGADO**, Chilena, nacida en Lota, el 06.OCT.1973, Cédula Nacional de Identidad N° 12.532.112-7, Soltero, Previsionista de Riesgo, domiciliado en calle Pedro Aguirre Cerda N° 995, lo Rojas, Coronel y quien apercibida por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal, voluntariamente expuso lo que a continuación se transcribe:

"La materia prima de la empresa es anchoa y jurel".

"Por otra parte, la planta se encuentra detenida, sin proceso durante las últimas dos semanas, por falta de recurso pesquero anchoa, hasta el año pasado estaba normal y este año hubo una importante baja del recurso. Por esta razón no estamos evacuando residuos industrial líquido de ninguna índole al mar".

"Los residuos industriales líquidos que evacuamos, se someten al DS 90 y corresponde a agua de mar y se evacuan fuera del límite de la zona de protección litoral".

"Por otra parte, todas las plantas pesqueras como esta, ubicadas en la Bahía de Coronel, tienen un proceso similar, es decir el residuo industrial líquido evacuado debiese ser similar, la diferencia radica en la materia prima utilizada, en el sentido de la frescura con que venga".

"Cuando se trabaja con materia prima fresca, la calidad de la harina es de mejor calidad".

"Por último señalar, que el fenómeno de la varazón de langostino ocurrido en esta zona en el mes de marzo en Coronel, no lo había visto nunca en mis catorce años en esta pesquera".

#### **Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 15.-**

Posteriormente, con fecha 09.MAY.2013, siendo las 18:00 horas, en dependencias de la empresa Camanchaca, ubicada en calle Carlos Prats N° 80, de la ciudad de Coronel, se procedió a tomar declaración policial voluntaria a don **Gerardo Alberto FLORES SEPÚLVEDA**, Chileno, nacido en Concepción, el 20.JUN.1980, Cédula Nacional de Identidad N° 13.955.793-K, Casado, Ingeniero Mecánico, domiciliado en calle Carlos Prats N° 80, Coronel, quien apercibido por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal, voluntariamente expuso lo que a continuación se transcribe:

"Respecto a lo que se me consulta, me desempeño como supervisor de planta de residuos industrial líquido de la empresa compañía pesquera Camanchaca, aunque pertenezco a la empresa subcontratista "ecoriles" desde el año 2011".

"Por otra parte, debo indicar que el día de ayer, peritos de la PDI, obtuvo muestras de residuos industriales líquidos desde la salida de efluentes Daf N° 2, siendo éste el punto último previo a la llegada del emisario submarino de la planta".

"Los residuos industriales líquidos, se someten al D.S.90, tabla N° 5, lo cual mide cuatro veces al mes de acuerdo a resolución de monitoreo de la superintendencia de servicios sanitarios, por lo que se mide sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, sólidos sedimentables, pH, temperatura y no se mide el resto de los elementos señalados en la tabla N° 5, lo que se hace una vez al año".

"Por otra parte, debo indicar que esta pesquera pesca anchova y jurel".

"Respecto del volumen máximo descargado diariamente, no pueden exceder los 3300 m<sup>3</sup>/día aproximadamente, siendo el promedio del orden de 2000 a 2300 m<sup>3</sup>/día de residuo industrial líquido".

"El recurso pelágico utilizado en el proceso productivo, es jurel, sardina y anchoveta para hacer conserva de jurel y harina de pescado".

Este año a principios del mes de marzo, cuando se levantó la veda, se detectó que ya no había sardina, ya que en épocas normales habían descargas diarias de sardinas y anchovetas de 1000 tons/diarias y este año solo en promedio se descargaba 100 tos/semanal, por lo que actualmente la empresa se sostiene por el recurso jurel".

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 16.-**

Con fecha 09.MAY.2013, siendo las 18:30 horas, se realizó las consultas de la personas indicadas precedentemente, en el sistema computacional e Institucional de Gestión Policial, donde no registran antecedentes policiales de detenciones anteriores ni encargos judiciales pendientes.

Con fecha 10.MAY.2013, siendo las 14:10 horas, el suscrito en compañía del Subinspector José LEAL FIGUEROA, de la Brigada de Investigación Criminal Coronel, en el marco de las diligencias informadas mediante informe policial N° 154, de fecha 28.JUN.2013, realizaron en paralelo toma de muestras líquidas, para las causas agrupadas R.U.C. N° 1200530126-0; 1300277478-4; 1300340046-2 y 1300315761.4, de esa fiscalía local, en dependencias de la planta de pre - tratamiento ESBBIO - Coronel, ubicada en calle serrano s/n, lado sur del Puerto de Coronel, levantamiento a cargo de los peritos ecólogos José GARATE LAGOS y Cristian QUILODRÁN ROJAS, en presencia del encargado del lugar, don José Francisco VERGARA VERGARA, Cédula Nacional de Identidad N° 9.847.916-3.

**Se adjunta acta de entrada y registro voluntario en Anexo N° 17.-**

Con fecha 10.MAY.2013, siendo las 14:30 horas, se realizó la consulta de la persona indicada precedentemente, en el sistema computacional e Institucional de Gestión Policial, donde no registra antecedentes policiales de detenciones anteriores ni encargos judiciales pendientes.

Con fecha 21.JUN.2013, se recepcionó en esta Unidad Policial, Informe Técnico de Campo Subacuático N° 07, de fecha 22.MAY.2013, del Equipo de Operaciones Subacuáticas de la Brigada de Reacción Táctica Metropolitana, referido al trabajo de sitio de suceso realizado con fecha 10.MAY.2013, en horas de la mañana, donde conforme a planificación se habían designado cinco puntos en la caleta Punta Lavapie, respecto de la toma de sedimento subacuático, que por las condiciones marítimas imperantes desfavorables de esos días, solo fue posible levantar muestras en dos puntos, los que fueron fijados georeferencialmente y se encuentran descritos en el señalado informe, situación que obliga a realizar una nueva planificación. determinándose la

Subacuática Institucional, así como de las condiciones marítimas que permitan abarcar esta amplia extensión de sitio de suceso, a fin de ver si existe influencia de contaminación de las industrias emplazadas en la zona motivo de investigación respecto de la biodiversidad del sedimento marino, así como de la presencia de metales pesados en las algas presentes en dicha costa, o bien si ésta tiene alguna influencia de tipo geológico.

**Se adjunta Informe Técnico de Campo N° 07, de fecha 22.MAY.2013, del Equipo de Operaciones Subacuáticas, incluye Informe Fotográfico, en Anexo N° 18.-**

Con fecha 21.AGO.2013, se recepciona en esta Unidad Policial, Informe Pericial N° 110, de la Sección Ecología y Medioambiente, del Laboratorio de Criminalística Central, de fecha 14.AGO.2013, referida a análisis de información entregada por el suscrito al Profesional de dicha Sección Cristian QUILODRÁN ROJAS, respecto de los registros de autocontroles de residuos líquidos, emisiones atmosféricas entre otros, información solicitada mediante correo electrónico por el suscrito a las centrales Bocamina y Santa María de Coronel.

Es dable indicar que, los resultados de dicho análisis de información, se refiere solo a los antecedentes aportados por personal representante de la central Termoeléctrica Santa María, por cuanto no se realizó la entrega de esta misma información solicitada el año 2013, por parte de la central Termoeléctrica Bocamina.

Se logra establecer dentro de los aspectos ambientales mas relevantes lo siguiente:

- Respecto del Anexo N° 01, el registro de temperatura en la descarga entre el 15 de agosto del 2012 y el 31 de enero de 2013, no superan el 100% del límite establecido en la tabla N° 4 del D.S. 90/2000, dando cumplimiento a lo establecido en la norma, sin embargo, durante el mes de enero del 2013 se omitieron registros de ese mes, equivalente al 30,8 % del total, no existiendo antecedentes respecto de las causas de dicha omisión.
- El Anexo N° 02, respecto del cumplimiento de los requisitos analíticos impuestos por la Resolución N° 12.600/05/1246, de fecha 06.NOV.2012, de la dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante, indicándose en este Informe Pericial, que el Laboratorio de Ensayo de Aguas Residuales del Instituto de Investigación Pesquera Octava Región S.A., no se encuentra acreditado para los ensayos de "Arsénico", "Cobre", "Fluoruro", "Zinc", "Hidrocarburos Aromáticos Totales", "Cloro Libre Residual", "Cloro Residual Total".
- Los valores de emisiones de la chimenea de la unidad I, para el periodo comprendido entre el 15.AGO.2012 y el 31.DIC.2012, señala que cumplen con lo señalado en la Tabla N° 1 del D.S. 13/11 para los parámetros Óxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y Material Particulado (MP).
- El informe de muestreo realizado en la descarga al estero Manco, incluido en el Anexo N° 5, cumple con lo establecido en la Tabla 1 del DS 90/2000, sin embargo, se desconoce la frecuencia de los muestreos en dicho lugar.

de camiones. De igual forma, no existe información relacionada a las medidas de contingencia comprometidas por el titular, en la RCA del proyecto respecto a zona habilitada al interior de la central.

- Los informes de monitoreo de las aguas superficiales y de contacto que se adjunta en el Anexo N° 6, se observa que existe cumplimiento de la tabla N° 01, de la NCh 1333, requisitos del agua para riego, exceptuando el parámetro Sodio porcentual, que estaría presente en los puntos de muestreo aguas arriba del acopio de cenizas, señalando que esta sería una condición propia de las aguas del sector.
- Los análisis realizados a las cenizas por el laboratorio Cesmec, permiten clasificar a las cenizas como un residuo no peligroso, dadas las pruebas de TCLP, inflamabilidad, corrosividad y reactividad, según lo determinado por el DS 148/05. Se indica que, dicho laboratorio realiza la caracterización elemental de las cenizas a través de la metodología denominada Espectrometría de Rayos X, sin embargo, Cesmec no informa la concentración elemental de mercurio, vanadio, cromo, plomo, selenio y cadmio, que pueden ser considerados como peligroso cuando su concentración supera en 20 veces los límites permitidos por el test de lixiviación.

**Se adjunta Informe Pericial Medioambiental N° 110/2013, de fecha 14.AGO.2013, del Laboratorio de Criminalística Central, en Anexo N° 19.-**

Con fecha 29.AGO.2013, se recepciona en esta Unidad Policial, Informe Pericial Medioambiental N° 121, de la Sección Ecología y Medioambiente, del Laboratorio de Criminalística Central, y que hace referencia a un estudio de matrices ambientales como algas, suelo, sedimentos de techos y sedimentos submarinos, orientativos frente a la eventualidad de contaminación en la Bahía de Coronel por metales pesados, determinándose previo a la luz de los resultados de laboratorio anteriores, ampliar el área de inspección y recolección de elementos de interés para la presente investigación en el Golfo de Arauco, con la asistencia del equipo subacuático metropolitano, para los efectos de la recolección de sedimento marino en dicho lugar.

En la inspección ocular y trabajo del sitio del suceso, se hace referencia al levantamiento de siete puntos de muestreo de algas marinas; diez puntos de muestreo de sedimento en los techos de casas elegidas en forma aleatoria en la ciudad de Coronel; seis puntos de muestreo de suelo y tres puntos de muestreo de residuos industriales líquidos, provenientes de empresas distintas a las centrales termoeléctricas emplazadas en la ciudad de Coronel. Todos los puntos mencionados se encuentran georeferenciados y se pueden observar a través de las imágenes satelitales de las figuras N° 01 al 04, así como de las vistas fotográficas de las figuras N° 05 al 26, de dicho Informe Pericial.

Respecto de las concentraciones de metales en las algas, los análisis sugieren que el aumento de la concentración de Mercurio; Vanadio; Plomo y Cobre en las algas rojas y verdes recolectadas en los sectores de Lota y Coronel, se deben al aumento de la concentración de éstos en aguas y/o en sedimentos en estos sectores.

Las concentraciones de los elementos metálicos para Mercurio y Vanadio, del suelo considerado residencial en la Comuna de Coronel, se encuentran presentes en todos los puntos.

El punto de muestreo de suelo mas cercano a la chimenea de "Bocamina Segunda Unidad" presenta las mayores concentraciones de Arsénico; Cromo; Cinc; Mercurio; Plomo y Vanadio, lo cual indica que en el sector de ubicación de las plantas termoeléctricas Bocamina, de ENDESA S.A., ***puede ser considerado como fuente del origen de la contaminación. De lo anterior, es dable considerar que por mas de cuarenta años se ha depositado material particulado en el suelo de la ciudad de Coronel, en concentraciones que afectan la salud de las personas y el medioambiente.***

Del sedimento acumulado y obtenido en forma aleatoria en los techos de casas de la ciudad de Coronel, se observa que para el metal pesado de Mercurio, en todos lo puntos de muestreo sobrepasa la normativa de referencia para la determinación de la toxicidad de un residuo peligroso, ***lo que implica que la población de la comuna de Coronel, está expuesta a concentraciones de Mercurio que pueden dar origen a una o mas sustancias tóxicas agudas o crónicas.***

Es importante señalar que, en revisión de la Resolución de Calificación Ambiental, en las cuales las empresas productoras de electricidad mayores a 3 MW, deben someterse al Sistema de Evaluación Ambiental, debiéndose señalar que la Central Bocamina entró originalmente en operaciones durante el año 1970 y que por tanto no fue sometido al actual Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. No obstante, el proyecto ampliación central Bocamina (Segunda Unidad) fue calificado favorablemente mediante Resolución Exenta N° 206/2007 de fecha 02.AGO.2017, por la Comisión Regional del Medioambiente.

Por otra parte, el año 2011 la empresa ENDESA Chile, presenta ante el Sistema de Evaluación Ambiental una Declaración de Impacto Ambiental, para optimizar el diseño de Bocamina Segunda Unidad, a fin de aumentar en 20 MW la potencia de la planta y que no se modificarían las características esenciales del proyecto aprobado "Ampliación Central Bocamina" (Segunda Unidad).

La Comisión de Evaluación Ambiental del Bío Bío, mediante Resolución exenta N° 154, de fecha 04.JUL.2012, determina poner término al procedimiento de Evaluación Ambiental del proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Unidad".

Por otra parte, el plano de la planta del proyecto original presentado en el mes de julio del año 2006, indica con el número 27 la disposición de la chimenea, la que se observa en la figura N° 46, del Informe Pericial, no obstante, en la actualidad la chimenea posee otra disposición, lo que se observa en el mapa de superposición del plano original del proyecto con imagen satelital, de la figura N° 47, del Informe Pericial. Lo anterior, importó haber presentado un estudio de impacto ambiental por el nuevo modelamiento de la dispersión de la pluma de la chimenea, presentándose solo una declaración de impacto ambiental, la que fue rechazada en el mes de julio del año 2012, por la Comisión de Evaluación Ambiental.

**Se adjunta Informe Pericial Medioambiental N° 121, de fecha 19.AGO.2013, del Laboratorio de Criminalística Central. en Anexo N° 20.**

Por otra parte, en respuesta a oficio (o) N° 201, de fecha 16.MAY.2013, de esta Unidad Policial, donde el suscrito solicitó a la Sección de Ecología y Medioambiente del Laboratorio de Criminalística Central, realizar un pronunciamiento técnico del análisis químico elemental realizado por esa sección a sedimentos sólidos (cenizas) provenientes del proceso industrial de las centrales termoeléctrica mediante la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos - X, se recepcionó respuesta con fecha 26.SEP.2013, Informe Pericial Medioambiental N° 123 de fecha 09.SEP.2013 de esa sección.

Se indica que el laboratorio de criminalística central no cuenta con la técnica de absorción atómica de vapor frío para el análisis de mercurio en matrices de suelo y sedimento, para ello utiliza la técnica analítica para análisis del mercurio es dichas matrices, correspondiente a espectrometría de fluorescencia de rayos - X (FRX) el cual toma como referencia lo descrito en la EPA 6200 "Método de análisis para la determinación de concentración de elementos en suelo y sedimento" y en la EPA 600/R92/128 "Preparation of soil sampling protocols: Sampling Techniques and Strategies; Section 3, Random Sampling".

La técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos - X (FRX) es una técnica no destructiva, que permite tener una descripción de elementos químicos in situ.

El perito José GARATE LAGOS, de la Sección de Ecología y Medioambiente del LACRIM Central, ha realizado procedimientos para asegurar la calidad de los resultados, a través de análisis cuantitativos y cualitativos a las matrices suelo y sedimento, realizando curvas de calibración utilizando material de referencia certificado de la marca RTC, para mercurio en suelo y trazable a material estándar de referencia NIST.

De igual forma, el perito GARATE, logró determinar el límite de detección del elemento mercurio, siendo el resultado de 5,64 mg/kg.

Respecto de la metodología de la toma de muestras de sedimento, se indica que los peritos de esa Sección de Ecología y Medioambiente, levantan las muestras basándose en el procedimiento interno LCC-EC-P-020 "Procedimiento toma de muestras de suelo", el cual tiene como referencia la norma EPA 600/R92/128 (Juli 1992) "Preparation of soil sampling protocols: Sampling Techniques and Strategies; Section 3, Random Sampling".

Finalmente, se indica que los proveedores de carbón utilizado como materia prima en la generación de energía eléctrica, son de diferentes países, lo que implica que la caracterización química elemental del carbón, varía dependiendo de la fuente de origen, tipo de carbón, tamaño de partícula del carbón y temperatura de combustión.

**Se adjunta Informe Pericial Medioambiental N° 123, de fecha 09.SEP.2013, del Laboratorio de Criminalística Central, en el Anexo N° 21.-**

Con fecha 30.SEP.2013, siendo las 10:10 horas, en dependencias de la Prefectura Provincial Valdivia, ubicada en Avenida Ramón Picarte N° 2582, Valdivia, se procedió a tomar declaración policial voluntaria al Subgerente de Asistencia Técnica de la empresa Colbún S.A., don **Mauricio Eugenio ORELLANA GONZÁLEZ** Chileno, nacido en Potafofo, el 05.FEB.1964.

operación por el artículo N° 26 del Código Procesal Penal y en compañía de abogado representante de la central Termoeléctrica Santa María de Colbún S.A. don Alberto AGUILERA APABLAZA, señaló lo siguiente:

"Hemos venido en forma voluntaria a esta Prefectura Provincial Valdivia, en conformidad a una información solicitada hace un tiempo atrás por personal de la PDI, respecto de los procesos de nuestra Central Termoeléctrica Santa María, emplazada en la ciudad de Coronel".

"Tengo el cargo de Subgerente de Asistencia Técnica de las empresa Colbún S.A., cuya función es prestar asistencia técnica a todas las plantas de generación eléctrica de la empresa Colbún, en todos los temas de Ingeniería que sean distintos a la operación normal de las plantas, como mejoramientos, modificaciones, nuevas construcciones, estudios entre otros".

"Por lo anterior, a partir de las varazones de langostino que se generaron a principio de año en la Bahía de Coronel, la Gerencia de la empresa, a principio de año, instruyó a nuestra Gerencia, implementar un sistema que utilice tecnología de última generación, que permita la operación de la planta sin afectar los recursos naturales y la vida marina, para el sistema de succión de agua mar".

"A partir de ese momento empezamos a estudiar las distintas alternativas, determinando que la mejor tecnología disponible hoy a nivel mundial, para este tipo de eventos, es la instalación de filtros mallas, que permite separaciones de muy baja dimensiones".

"El sistema de aducción que se usa actualmente y que se encuentra autorizado bajo RCA, tiene una campana de succión de 6 metros de diámetro, compuesto por barras metálicas, separadas a 170 milímetros, con una velocidad de ingreso de 37 centímetros por segundo, lo que significa que por cada segundo, cualquier partícula en suspensión en el agua, avanza 37 centímetros en un segundo, siendo dable señalar que sobre 100 centímetros por segundo puede ser peligroso para un buzo u organismos mayores. Cuando se produce el primer evento de varazón del presente año, se decide forrar toda la estructura de succión, con una malla tipo pescador, lo que permitió retener todos los elementos de mayor tamaño, del orden de hasta 4 centímetros de longitud".

"Luego que se definió la utilización de filtros mallas para mejorar el estándar actual de succión, se realizó con la Universidad de Concepción, una caracterización de todo lo que ingresaba al sistema determinando que las especies jóvenes de Langostino, tenían una dimensión mínima de 5 milímetros, por lo que se determinó construir los filtros mallas con una separación de 4 milímetros, con ello se logra una barrera física, que impedirá el ingreso al sistema de cualquier elemento que mida mas de esa dimensión. Con esta sistema mas del 98% de los elementos serán retenidos".

"Ahora bien, estos filtros mallas que vamos a implementar, se utilizan ampliamente en Estados Unidos y Europa, y cumplen con al normativa determinada por la EPA, la que esta sobre las exigencias de las normar Chilenas la que define que los mallas..."

estas serán de aleación de los metales Cobre y Níquel, lo cual evita el fouling, la adherencia de crustáceos y algas, en la superficie de la malla, lo que no ocurriría en caso de ser de acero inoxidable o acero carbono, que obligaría a una limpieza periódica del sistema”

“Para asegurar las velocidades de diseño y el caudal requerido por la planta, a saber, 45.000 metros cúbicos hora, luego de los estudios de Ingeniería, se definió la instalación de diez filtros, y cada uno con una dimensión aproximada de 2 metros de diámetro por 5 metros de largo, los cuales se instalarán en una manifold (cañerías que toman distintas uniones) lo cual se instalará sobre la misma campana de succión existente. Todo el conjunto, tendrá una longitud aproximada de 30 metros, dispuestas bajo el eje del muelle, lo que asegura que no existirán elementos fuera del ancho del muelle, lo que de alguna forma asegura que esta estructura no sean dañadas por embarcaciones que anden en el sector”.

“El sistema de filtros contemplan un sistema de limpieza automático, en base a presión de aire, que será liberada desde el interior de los filtros, evitando así la adherencia a la malla, de los elementos que estén circulando cerca de ésta, lo cual podrá ser programada en forma automática o con operación manual, estimándose que esta limpieza con burbujas de aire, va a ser una o dos veces al día y cada limpieza dura cinco segundos”.

“Para los efectos de idear e implementar esta tecnología, se implemento un equipo multidisciplinario, de profesionales internos y externos, en donde el costo total de la instalación va a ser cercano a 5 millones de dólares”.

“Finalmente señalar, que el equipo esta constituido por: filtros mallas, en actual fabricación en Estados Unidos; compresor, estanques y cañerías de aire, en proceso de importación; estructura de manifold, manto de succión y estructura de soporte, en maestranza Chilena. El inicio de los trabajos en la Bahía de Coronel, están programados para fines del mes de Octubre del presente año, estimándose el término de los trabajos y puesta en operación de los sistemas, para fines del mes de diciembre, no obstante, que la autorización de la pertinencia por parte del Servicio de Evaluación Ambiental, define un plazo dentro del mes de Enero del año 2014.

**Se adjunta declaración policial voluntaria en Anexo N° 22.-**

Con fecha 30.SEP.2013, siendo las 13:30 horas, se realizó la consulta de la persona indicada precedentemente, en el sistema computacional e Institucional de Gestión Policial, donde no registra antecedentes policiales de detenciones anteriores ni encargos judiciales pendientes.

Se adjunta acta de entrega voluntaria de objetos y/o documentos, que adjunta minuta de nuevo sistema de filtro implementado por la central Termoeléctrica Santa María, correspondiente a la instalación de filtros de malla del sistema de captación de agua de mar.

De acuerdo a la información entregada, este nuevo sistema de succión de agua de mar, de filtros de malla cilíndrica, no afectaría los recursos naturales, la vida marina y los intereses comunitarios, así como la capacidad de generación de electricidad, siendo el jefe de dicho proyecto el

**Se adjunta acta de entrega voluntaria y minuta del nuevo sistema de filtros de succión de agua de mar, en Anexo N° 23.-**

Finalmente, se informa a esa fiscalía local que mediante oficio (o) N° 36, de fecha 22.ENE.2014, de esta Unidad Policial, se solicitó al equipo de Operaciones Subacuáticas, de la Brigada de Reacción Táctica Metropolitano, coordinar concurrencia con la Sección de Ecología y Medioambiente, del Laboratorio de Criminalística Central, a la VIII Región del Bío Bío, con la finalidad de tomar muestras de sedimento marino en el Golfo de Arauco, incluido la Isla Santa María, de acuerdo a los puntos ya definidos en terreno, en el mes de mayo del año 2013 y que habían sido solicitados previamente mediante Oficio N° 200, de fecha 16.MAY.2013, de esta Brigada Especializada, con la finalidad de realizar una matriz ambiental en un área lo suficientemente extensa que permita establecer o descartar fenómenos de contaminación en dicha zona marina bajo una batimetría no superior a 20 metros de profundidad, que eventualmente se encuentren influenciada por los procesos industriales de la zona o sea propio de las características geológicas del lugar.

**III.- RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN CRIMINALISTICA**

En virtud a los antecedentes recopilados en la presente investigación, se dio cumplimiento a lo solicitado por esa Fiscalía, a través del trabajo científico – policial, y los diversos anexos que se adjuntan al presente Informe Policial, tendientes a establecer episodios de contaminación en la Bahía de Coronel, en relación a los proyectos de generación eléctrica, Central Termoeléctrica Bocamina y Central Termoeléctrica Santa María, ambas ubicadas en la ciudad de Coronel, VIII Región del Bío Bío y cuyos resultados logran incorporar nueva información a los antecedentes previamente establecidos e informados en esta misma causa y que permiten comprender de mejor manera ciertas áreas del proceso industrial especialmente de la central Termoeléctrica Santa María de Coronel, que entrego la información solicitada por el suscrito y que pudieran tener influencia en diversos factores ambientales, lográndose establecer lo siguiente:

Respecto del sistema de producción de Hipoclorito de Sodio como método antifouling (antiincrustantes) que permite evitar la incrustación de diversos elementos en las tuberías de succión de agua de mar, que utiliza la central Termoeléctrica Santa María de Colbún, esta empresa obtiene este elemento a partir del agua de mar, logrando separar a través de una activación eléctrica, los dos átomos que conforman la molécula de sal, para obtener el compuesto químico Hipoclorito, método que conforme a declaración de experto químico de la empresa, sería ambientalmente inocuo y mas seguro desde el punto de vista de seguridad laboral.

Por otra parte, en razón a los resultados de laboratorio Institucional, referidos a la toma de muestras sólidas de carbón y cenizas en la central Termoeléctrica Santa María, dicha empresa habría realizados contramuestras de éstos y enviados a un laboratorio externo, donde se analizaron las concentraciones de los metales pesados de arsénico; mercurio; cadmio; níquel y vanadio, tanto para cenizas como para carbón, siendo los resultados que se obtienen inferiores a los límites mínimos de detección.

realizada por la empresa demandada, para muestras de carbón y cenizas provenientes de su proceso de producción industrial, los cuales difieren respecto de los resultados que se obtienen de la identificación y cuantificación de los metales estudiados en las matrices señaladas por la Sección Ecología y Medioambiente, del Laboratorio de Criminalística Central, el suscrito frente a la discordancia del resultado, solicitó referirse en particular de la metodología utilizada y que cuenta dicha Sección, indicándose que dicho Laboratorio no cuenta con la técnica de absorción atómica de vapor frío y que utiliza la técnica analítica de espectrometría de fluorescencia de rayos X, técnica no destructiva que permite tener una descripción de elementos químicos in situ y que permite tener un límite de detección para el elemento mercurio de 5,64 mg/kg, utilizándose como referencia el método descrito en la EPA 6200 (Agencia de Protección Medioambiental de los EEUU) de análisis para la determinación de concentración en suelo y sedimento y en la EPA 600/R92/128 "Preparation of soil sampling protocols: sampling techniques and strategies; section 3, random sampling".

En visita de inspección realizada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de la Región del Bío Bío, en el mes de marzo del año 2013, en virtud a la varazón de recursos hidrobiológicos particularmente de *Langostino colorado*, ocurrido en esa época en la Bahía de Coronel, se observó en la central Termoeléctrica Santa María, estas especies que ingresaron al sistema a través de los ductos de captación, retenidos en el filtro de tambor rotatorio y derivados hacia un canastillo, en tanto, que los volúmenes de captación de este recurso que fueron entregados al Servicio Nacional de Pesca Región del Bío Bío, por dicha empresa, son coincidentes a los entregados al suscrito y señalados en el Informe Policial N° 154, de fecha 28.JUN.2013, de esta Unidad Policial. Respecto de la visita de inspección de ese mismo Servicio, a la central Bocamina Primera y Segunda Unidad, que en visita a la sala de filtros no se encontró retenidos biomasa en la rejilla, no obstante, se observó en los canales de descarga al mar, donde existía gran cantidad de ejemplares de *Langostino colorado* varados, en concordancia a lo observado y al sistema de devolución de sólidos provenientes del mar descrito en el mismo Informe Policial.

Mediante el análisis de muestras de sedimento (carbón y cenizas) y de agua de pozos subterráneos bajo el relleno de cenizas de la central Bocamina y Santa María, se observa como se ha venido informando, al menos en las cenizas provenientes de sus procesos, concentraciones tóxicas del metal pesado mercurio.

De igual forma, existe una directa correlación entre la composición de las cenizas de relleno de Bocamina y los altos niveles de Cromo y Vanadio, en la muestra de suelo del sector Schwager, cercano a dicho relleno.

Se observa altos niveles de sales disueltas en los pozos subterráneos con influencia de cenizas de la cancha de acopio de ésta de la central Bocamina, así como contaminación por el metal pesado mercurio en las aguas subterráneas por lixiviación y contaminación de sulfatos provenientes del yeso (sulfato de calcio) depositado junto a la ceniza de proceso.

Los análisis de las concentraciones de metales pesados, presente en algas rojas y verdes recolectadas en los sectores de Lota y Coronel, sugieren el aumento de concentración de los metales mercurio; vanadio; plomo y cobre, concordantes con el aumento de la concentración de éstos en las

y vanadio presentes en el suelo de la comuna de Coronel, un peligro para la salud de la población y el medioambiente, lo anterior, conforme a los máximos establecidos en la norma Internacional utilizada para estos efectos, siendo dable considerar que la central Bocamina Primera Unidad, ha ido depositando material particulado al suelo de la ciudad de Coronel, por mas de cuarenta años, lo que implica que la población de la comuna de Coronel, esta expuesta a altas concentraciones tóxicas del metal mercurio. Se toma como referencia también, la concentración detectada en los techos de las casas de esa ciudad.

Por otra parte, se ha considerado necesario realizar una matriz ambiental en parte del Golfo de Arauco incluida la Isla Santa María, en la VIII Región del Bío Bío, para el presente año, a fin de tomar muestras de sedimento marino y de algas en la orilla de dicho sector, para determinar y descartar en esa zona, efectos de contaminación objeto de estudio. En las coordinaciones realizadas por el suscrito con el Equipo de Operaciones Subacuáticas, de la Brigada de Reacción Táctica metropolitana y la Sección Ecología y Medioambiente, del Laboratorio de Criminalística Central, en consideración a que durante el año 2013, no fue posible realizar dicha pericia en toda esa extensión de territorio marino, por lo que se solicita a esa Fiscalía Local tener a bien, respaldar mediante instrucción dicho procedimiento.

  
**VICTOR CASANOVA LARA**  
Subcomisario  
Oficial Investigador

### III.- CONCLUSIONES

- 1.- La caracterización química elemental del suelo considerado residencial en la comuna de Coronel, indica que los elementos Mercurio y Vanadio están presentes en todos los puntos muestreados, sobrepasando los límites máximos establecidos en 21 % y 274 % respectivamente para la norma de referencia canadiense para suelos residenciales, lo cual representa un peligro para la salud de la población y el medioambiente.
- 2.- El punto de muestreo S3 cumple con el criterio de punto control ya que presenta concentraciones elementales bajo la normativa de referencia para suelos residenciales correspondiente a Canadá, a excepción del Cadmio que presenta una concentración de 19 mg/Kg en dicho punto, considerándolo geogenico para el presente estudio.
- 3.- El punto S0 correspondiente al punto más cercano a la chimenea de Bocamina Segunda Unidad, presenta las mayores concentraciones de Arsénico, Cromo, Cinc, Mercurio, Plomo y Vanadio, lo cual indica que el sector de las plantas termoeléctricas de propiedad de ENDESA S.A. puede ser considerado como fuente de origen de la contaminación.
- 4.- Considerando que la ampliación de la planta termoeléctrica "Bocamina Segunda Unidad" entró en operaciones durante el año 2012 y que la planta termoeléctrica "Bocamina" entró en operaciones durante el año 1970. Se puede decir que por más de cuarenta años se ha depositado material particulado en el suelo de Coronel, cuya concentración química elemental presenta elementos en concentraciones que afectan la salud de las personas y el medioambiente.
- 5.- De acuerdo a los resultados obtenidos en el sedimento de techo de la comuna de Coronel, se puede decir que la variación en la composición química elemental, podría deberse a que el Carbon utilizado en la generación de electricidad proviene de diferentes proveedores a nivel mundial como por ejemplo Colombia, el que podría diferir en su composición química elemental respecto del Carbon de otro origen.
- 6.- El sedimento de los techos muestreados pueden ser clasificados residuos peligrosos de toxicidad extrínseca, debido a que las concentraciones de Mercurio en todos puntos muestreados de la comuna de Coronel sobrepasan la normativa de referencia para determinar la toxicidad de un residuo peligroso. Esto implica que la población de la comuna de Coronel está expuesta a concentraciones de Mercurio que pueden dar origen a una o más sustancias tóxicas agudas o crónicas.
- 7.- La empresa ESSBIO en Coronel emite un residuo industrial líquido con una concentración de Aluminio que sobrepasa el límite máximo establecido para descarga en cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral, sin embargo se debe considerar que la muestra obtenida para el análisis es puntual y no compuesta como lo menciona el Decreto Supremo N° 90 del

MINSEGPRES. Además de no superar el 100 % del valor máximo del parámetro.

8.- De acuerdo a los parámetros físico-químicos registrados *in-situ* y comparados con la tabla N° 4 del D.S. 90, todos los puntos cumplen los límites máximos establecidos en dicho cuerpo normativo.

8.- El proyecto "Ampliación Central Bocamina (Segunda Unidad)" calificado favorablemente mediante Resolución 206/2007 de fecha 02.AGO.007 por la Comisión Regional del Medioambiente ha sido alterado debido a que existe discordancia en la disposición de la chimenea de acuerdo al plano presentado por ENDESA S.A. y su actual emplazamiento, lo cual implica que no se habría advertido esta modificación por parte de los organismos fiscalizadores.

9.- La empresa ENDESA S.A. trató de solucionar la modificación al proyecto calificado favorable, respecto de la disposición final de la chimenea mediante una Declaración de Impacto Ambiental en Noviembre del 2011, siendo rechazado por la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región del Bío-Bío, basado en el fallo emitido por la Ilustrísima Corte de Apelaciones de Concepción en donde acoge el recurso de protección deducido en contra del proyecto "Optimización Central Termoeléctrica Bocamina Segunda Etapa".

10.- La empresa ENDESA S.A. da inicio a las operaciones de la planta Bocamina Segunda Unidad durante el mes de Octubre del 2012, sin haber recibido la Resolución de Calificación Ambiental que la autoriza para funcionar con la nueva disposición de su chimenea.

11.- El área de influencia por arrastre eólico concuerda con los vectores de velocidad de mayor magnitud tomando como origen la zona industrial perteneciente a ENDESA S.A. de acuerdo a la rosa de los vientos observada en la estación Lagunilla en la comuna de Coronel que mide distintos parámetros para la calidad del aire, perteneciente al Sistema Nacional de la Calidad del Aire del Ministerio del Medioambiente.

12.- No es posible establecer la influencia de la Central Termoeléctrica denominada Santa María de la empresa COLBUN S.A. sobre la comuna de Coronel, ya que esta planta entró en operaciones el 15.AGO.012, por lo que lleva a penas un año aproximadamente en funcionamiento.

13.- La concentración de metales como el Mercurio, el Vanadio, el Plomo y el Cobre en las algas rojas y verdes recolectadas en los sectores de Lota y Coronel se deben al aumento de la concentración de estos elementos en aguas y/o en sedimentos de estos sectores. Esto tiene incidencia directa sobre la salud de la población local que consume alimentos provenientes del mar contaminados con metales pesados.

14.- Se sugiere llevar a cabo la ampliación del muestreo de sedimentos submareños del golfo de Arauco, anteriormente propuesto, con el objetivo de conocer la composición elemental de éstos, conocer el alcance de la degradación del sustrato marino y si los resultados obtenidos del muestreo de

las algas se correlaciona a la calidad de los sedimentos desde donde fueron colectadas.

15.- Mediante Minuta (O) 123 del 26 JUN. 2013, se solicitó al laboratorio de microanálisis el análisis morfológico y químico elemental del sedimento de techo colectado en la comuna de Coronel; el resultado de este análisis se remitirá en un nuevo Informe Pencial que complementará lo expuesto en el presente estudio.

Saluda atte. a Ud.



*[Handwritten Signature]*  
**JOSE GARATE LAGOS**  
 Perito Ecológico



**CRISTIAN QUIODRAN ROJAS**  
 Perito Ecológico

JGL/jal  
 Distribución  
 BIDEMA Valdivia (1)  
 Arch. Lacerin (1)  
 L: 3903 - 3972 - 3973 - 3974  
 E: 91 - 92 - 93 - 94  
 Reg. Cust: 2469/13  
 N/P-1222

Laboratorio de Criminalística Central, Carretera Silva Vidales Nº 8783, Comuna de La Reina, Santiago, Sección Ecología y Medioambiente. Fono: 02-87979