

001106



CONAMA

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Comisión Nacional del Medio Ambiente
Unidad de Economía Ambiental

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL
ANTEPROYECTO DE NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA PLOMO EN
EL AIRE

Febrero de 2000

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe ha sido realizado en la Unidad de Economía Ambiental basándose en el informe final de la consultoría “Evaluación Económica de la Norma Primaria de Calidad de Plomo en el Aire” elaborado para CONAMA¹ por un equipo dirigido por el señor Omar Cerda Inostroza. Además, se ha utilizado un estudio contratado a la consultora GREDIS² de preparación de información básica para todo el proceso normativo. Información adicional sobre los detalles y supuestos de los cálculos se encuentran en el citado informe del Sr. Cerda.

2. ANTECEDENTES GENERALES

El presente documento de análisis se ha elaborado en orden a satisfacer los requerimientos señalados en el *Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión* (artículo N°15 del D.S. 93/95 del Ministerio SEGPRES) e informar adecuadamente respecto de los impactos económicos y sociales de la norma de calidad primaria de plomo en el aire.

Según el reglamento, la evaluación debe dar cuenta de los costos y beneficios para la población directamente afectada, costos y beneficios a los emisores que deberán cumplir la norma, y los costos y beneficios para el Estado como responsable de la fiscalización y el cumplimiento de la norma.

El plomo es un metal pesado que se encuentra en el aire, agua y suelo producto de la actividad antropogénica. El plomo emitido al aire puede incorporarse al organismo humano por vía digestiva, respiratoria o dérmica.

La salud de las personas se puede ver afectada por la presencia de plomo en sus organismos. Se conoce que el plomo produce alteraciones en el desarrollo psicomotor, alteraciones hematológicas, e incluso, en niveles severos, provoca convulsiones, encefalopatías y neuropatías, provocando daños irreversibles importantes. En Chile se han detectado situaciones puntuales con niveles preocupantes de plomo en sangre en niños y en adultos.

A nivel nacional, el principal emisor al aire de este contaminante corresponde a las fuentes móviles que emiten plomo a la atmósfera como resultado de la combustión de las gasolinas. A nivel local, existen algunas fuentes fijas puntuales que generan dificultades en su entorno.

En este documento se analizan las emisiones existentes, la calidad del aire resultante para tales emisiones, los efectos en la salud de la población y se estiman costos y beneficios asociados a la imposición de una norma primaria calidad de aplicación nacional. El objetivo del presente análisis es el de proveer información relacionada con los impactos económicos y sociales de esta norma como antecedentes para la toma de decisiones.

¹ Estudio “Evaluación económica de la norma primaria de calidad de plomo en el aire”. Informe final. Realizado para CONAMA por Omar Cerda, Rosa Escobar y Marcela Jerardino. Diciembre de 1999.

² Estudio “Preparación de antecedentes técnicos científicos para la elaboración de la norma de calidad primaria de plomo de aire”. Informe final. Agosto 1999, elaborado por GREDIS Grupo para el desarrollo de la investigación en salud (En expediente público de norma, N° 1-NOR-3/98).

3 METODOLOGÍA Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El estudio abordó los siguientes aspectos:

- Recopilación de información disponible sobre emisores (tanto de fuentes móviles como fijas) y adopción de valores de emisión de plomo.
- A partir de tales emisiones, y usando un modelo simplificado de dispersión se obtuvieron niveles de calidad del aire en las áreas de impacto de tales emisiones.
- Dichas calidades estimadas fueron contrastadas con las mediciones de calidad existentes, con el objeto de validar dichas estimaciones.
- Sobre esa base, se proyectaron las emisiones y la calidad actuales en un escenario de crecimiento de las fuentes y de ausencia de algún tipo de medida de descontaminación, para estimar si y cuándo podría llegarse a niveles críticos.
- De lo anterior, se concluyó sobre cuáles eran los sitios con posibilidades de excedencia de la propuesta de norma y en cuales generarían daños a la salud de la población.
- En todos los sitios considerados, se calculó la población afectada y la fracción más vulnerable, definida como los niños de 0 a 6 años.
- En aquellos sitios que en el futuro puede darse situaciones de elevados niveles de plomo en aire en ausencia de regulación, se valoró, cómo indicadores de los efectos económicos en las personas afectadas, los costos de tratamiento médico de casos de niños con intoxicación leve por plomo y de refuerzo educacional y pérdida de ingresos futuros por daños cognitivos. Vale destacar que estos impactos son mínimos (no reflejan la totalidad de impactos que pueden ocasionarse como resultado de exposiciones a altos niveles de plomo ambiental, como hipertensión arterial en adultos) y algunos han sido utilizados en otros países para valorar efectos de la contaminación por plomo (ver el caso de la regulación del plomo en gasolinas en Morgenstern, 1997, p. 49).
- Luego se construyó un escenario en que, como resultado de la aplicación de la norma en las áreas afectadas, se establecen medidas de control, principalmente declaración de zonas latentes y los consecuentes planes de prevención. Se valoran aquí los costos de monitoreo y de elaboración de planes de prevención que recaerían sobre el Estado.
- En las zonas que podría excederse la norma y en el escenario de implementación de planes para controlar las emisiones, se estimó los costos de abatimiento de tales emisiones y los daños que se evitan a la salud que ocurrirían en ausencia de regulación. El impacto de la presente normativa, corresponde por los tanto a estos daños evitados (beneficios), los costos para el Estado de implementar redes de monitoreo de la calidad y elaborar planes de prevención, y los costos de reducción de emisiones como consecuencia de las medidas que se implementarían para evitar o alcanzar los valores de calidad establecidos en el presente anteproyecto.

Es importante señalar que en la consecución de todos estos pasos, se trató siempre de hacer estimaciones conservadoras o del “peor escenario” con el objeto que la evaluación refleje “lo peor que pudiese pasar”.

4. CONSTRUCCIÓN DEL ESCENARIO BASE O SIN NORMA

4.1. Identificación de las fuentes y la zona de estudio

El plomo es un elemento emitido por fuentes fijas y móviles. La principal emisión debida a fuente móvil corresponde a la combustión de la gasolina vehicular, por esta razón la zona de estudio comprende las 13 regiones del país, en particular aquellas áreas que presentan un mayor número de vehículos: las ciudades de Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, Copiapó, La Serena-Coquimbo, Valparaíso-Viña del Mar, Santiago, Rancagua, Curicó, San Fernando, Talca, Chillán, Concepción-Talcahuano, Los Ángeles, Temuco, Valdivia, Osorno, Puerto Montt, Coyhaique y Punta Arenas.

En relación a fuentes fijas, las áreas de interés comprenden los acopios de plomo de Arica y Antofagasta; las fundiciones primarias de cobre, ubicadas en las cercanías de Antofagasta, Calama, Copiapó, Chagres, Ventanas y Caletones; fundiciones secundarias de plomo emplazadas en la Región Metropolitana; una fundición de ánodos de plomo en Calama; y eventuales emisiones secundarias en Talcahuano.

4.2. Estimación de emisiones asociadas a fuentes móviles

Las emisiones de fuentes móviles corresponden a los vehículos que utilizan gasolina como combustible. Los tipos de gasolinas considerados son la bencina sin plomo de 81 y 93 octanos y con plomo de 93, 95 y 97 octanos. Los vehículos considerados son autos, camionetas, furgones, *station wagon*, vehículos de tracción a las cuatro ruedas, taxis básicos y colectivos.

Para la estimación de emisión de las fuentes móviles se utilizó la siguiente información:

- a) **Contenido de plomo en las gasolinas.** La presencia de plomo en las gasolinas viene dada por la norma que regula la composición de tales combustibles, que se presenta en la siguiente tabla:

Cuadro N°1: Concentración máxima de plomo en gasolinas de Chile

Región	Gasolinas con plomo	Gasolinas sin plomo
Metropolitana	0,4 gr/l	0,013 gr/l
Resto del País	0,6 gr/l	0,013 gr/l

Nota: Estos valores máximos permitidos constituyen el escenario más desfavorable para el análisis.

- b) **Factores de emisión de plomo.** La emisión de plomo al aire constituye sólo un porcentaje del total de plomo contenido en las gasolinas. Los porcentajes utilizados se obtuvieron de US EPA³ y se indican a continuación.

³ Documento "Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Lead and Lead Compounds" de la US Environmental Protection Agency, de Mayo de 1998

Cuadro N°2: Porcentaje de plomo emitido a la atmósfera, según tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	Plomo Emitido a la Atmósfera
Opera con gasolina sin plomo	Libera el 40% del plomo a la atmósfera
Opera con gasolina con plomo	Libera el 75% del plomo a la atmósfera

En consecuencia la cantidad de plomo que se libera a la atmósfera por cada litro de gasolina consumida en el país es la resumida en el siguiente cuadro:

Cuadro N°3: Cantidad de plomo liberado por cada litro de gasolina consumido

Región	Gasolinas con Plomo	Gasolinas sin Plomo
Metropolitana	0,30 gr/l	0,0052 gr/l
Resto del País	0,45 gr/l	0,0052 gr/l

- c) **Parque de vehículos.** Para estimar el *stock* de vehículos de interés en circulación a nivel de país y en todas las ciudades antes referidas, se considera los vehículos que anualmente circulan (estadísticas INE del parque de vehículos en circulación 1992-98); una tasa de ingreso de autos nuevos al país (basado en las ventas anuales reportadas por ANAC para el período 1990-98); y una tasa de salida, que se calculó en un 5% anual; es decir, en Chile un vehículo circula 20 años en términos promedio (estimación del consultor en base a opinión de expertos).
- d) **Estimación de consumo de gasolinas.** Para la estimación de emisiones de plomo a la atmósfera por fuentes móviles a nivel de ciudad y país, se considera un promedio de circulación anual para autos y taxis de 20.000 y 100.000 km/año respectivamente y un rendimiento de 15 y 8 kilómetros por litro de gasolina para estas dos categorías.⁴ Estos valores se aplican al stock de vehículos con y sin catalizador, obteniéndose el consumo de gasolina histórico (del año 1990 hasta la actualidad) y proyecciones hasta el 2015.

Obtenidos así los consumos históricos y proyecciones para gasolinas con y sin plomo, se realiza un chequeo de estos valores con ventas históricas (a nivel de país) y proyecciones proporcionadas por ENAP. Ambas estimaciones resultan concordantes a nivel total. No obstante, las proyecciones de ENAP reflejan un mayor consumo histórico y una mayor proyección de consumo de gasolinas sin plomo que el ejercicio realizado en este documento (ver cuadro N°4). De tal modo, la estimación de emisiones de plomo de fuentes móviles presentada a continuación supone un decremento más paulatino de la emisión de plomo, y por lo tanto es un escenario más pesimista para efectos de este estudio en relación a lo proyectado por ENAP.

⁴ Valores basados en recomendaciones técnicas de ENAP y Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Resultados de la estimación de emisiones de fuentes móviles

El siguiente cuadro, que considera un escenario que podría calificarse de alta circulación de vehículos particulares (circulación promedio de 20 mil km/año), refleja los resultados desde el año 1992 hasta el 2015 de la emisión de este sector.

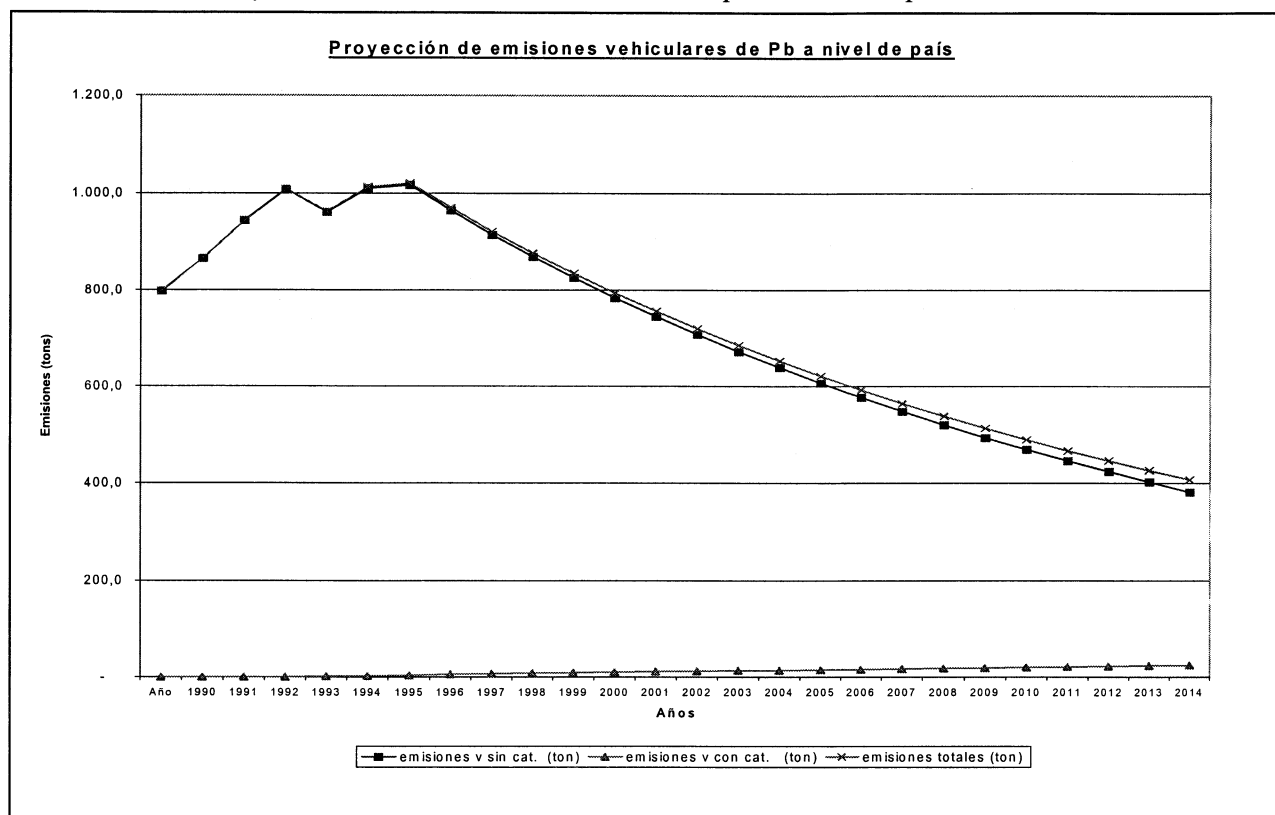
Se concluye que las emisiones de plomo de fuentes móviles irán disminuyendo paulatinamente en los próximos años, tal como ya lo han venido haciendo desde 1992, fecha de la aplicación de la exigencia de contar con convertidor catalítico en los vehículos nuevos que se comercializan en el país.

Cuadro N°4: Evolución esperada de emisiones de plomo de fuentes móviles a nivel de país

Año	Total País												
	Stock de Vehículos sin cat.	Vehículos sin cat. que entran	Vehículos sin cat. que salen	Tasa de salida de v sin cat.	Stock de Vehículos con cat.	Vehículos con cat. que entran	Vehículos con cat. que salen	Tasa de salida de v con cat.	Total vehículos	Tasa de incremento del parque	emisiones v sin cat. (ton)	emisiones v con cat. (ton)	emisiones totales (ton)
1990	966.801	100.000	18.128	1,9%	-	-	-	0,0%	966.801	-	797,5	-	797,5
1991	1.048.673	110.000	14.694	1,4%	-	-	-	0,0%	1.048.673	8,5%	865,0	-	865,0
1992	1.143.979	94.652	17.711	1,5%	-	25.000	-	0,0%	1.143.979	9,1%	943,6	-	943,6
1993	1.220.920	23.719	79.116	6,5%	25.000	89.157	1.250	5,0%	1.245.920	8,9%	1.007,1	0,3	1.007,4
1994	1.165.523	13.486	44.834	-3,8%	112.907	94.841	5.645	5,0%	1.278.430	2,6%	961,4	1,2	962,6
1995	1.223.843	7.642	753	-0,1%	202.103	138.788	10.105	5,0%	1.425.946	11,5%	1.009,5	2,2	1.011,7
1996	1.232.238	-	63.215	5,1%	330.786	162.039	16.539	5,0%	1.563.024	9,6%	1.016,4	3,6	1.020,0
1997	1.169.024	-	61.383	5,3%	476.285	175.475	23.814	5,0%	1.645.309	5,3%	964,3	5,2	969,5
1998	1.107.641	-	55.382	5,0%	627.946	140.874	31.397	5,0%	1.735.587	5,5%	913,6	6,9	920,5
1999	1.052.259	-	52.613	5,0%	737.423	105.000	36.871	5,0%	1.789.682	3,1%	868,0	8,1	876,1
2000	999.646	-	49.982	5,0%	805.552	120.000	40.278	5,0%	1.805.198	0,9%	824,6	8,9	833,4
2001	949.664	-	47.483	5,0%	885.274	130.000	44.264	5,0%	1.834.938	1,6%	783,3	9,7	793,1
2002	902.181	-	45.109	5,0%	971.010	140.000	48.551	5,0%	1.873.191	2,1%	744,2	10,7	754,8
2003	857.072	-	42.854	5,0%	1.062.460	150.000	53.123	5,0%	1.919.531	2,5%	707,0	11,7	718,6
2004	814.218	-	40.711	5,0%	1.159.337	155.000	57.967	5,0%	1.973.555	2,8%	671,6	12,8	684,4
2005	773.507	-	38.675	5,0%	1.256.370	160.000	62.818	5,0%	2.029.877	2,9%	638,0	13,8	651,8
2006	734.832	-	36.742	5,0%	1.353.551	165.000	67.678	5,0%	2.088.383	2,9%	606,1	14,9	621,0
2007	698.090	-	34.905	5,0%	1.450.874	170.000	72.544	5,0%	2.148.964	2,9%	575,8	16,0	591,8
2008	663.186	-	33.159	5,0%	1.548.330	175.000	77.417	5,0%	2.211.516	2,9%	547,0	17,0	564,1
2009	630.026	-	31.501	5,0%	1.645.914	180.000	82.296	5,0%	2.275.940	2,9%	519,7	18,1	537,8
2010	598.525	-	29.926	5,0%	1.743.618	185.000	87.181	5,0%	2.342.143	2,9%	493,7	19,2	512,9
2011	568.599	-	28.430	5,0%	1.841.437	190.000	92.072	5,0%	2.410.036	2,9%	469,0	20,3	489,3
2012	540.169	-	27.008	5,0%	1.939.365	195.000	96.968	5,0%	2.479.534	2,9%	445,6	21,3	466,9
2013	513.160	-	25.658	5,0%	2.037.397	200.000	101.870	5,0%	2.550.557	2,9%	423,3	22,4	445,7
2014	487.502	-	24.375	5,0%	2.135.527	205.000	106.776	5,0%	2.623.029	2,8%	402,1	23,5	425,6
2015	463.127	-	23.156	5,0%	2.233.751	210.000	111.688	5,0%	2.696.878	2,8%	382,0	24,6	406,6

Fuente: INE, ANAC, Estudio GREDIS

La tendencia global al reemplazo de vehículos sin catalizador y a la disminución de las emisiones de plomo asociadas, se reflejan en el gráfico siguiente.

Gráfico N°1: Proyección de emisiones vehiculares de plomo a nivel país.

El cuadro siguiente muestra las emisiones puntuales a nivel de las ciudades que concentran el mayor número de vehículos.

Cuadro N°5: Evolución esperada de emisiones de plomo por fuentes móviles a nivel de ciudades

Año	Emisiones totales estimadas de plomo por fuentes móviles en principales ciudades del país (en toneladas anuales)										
	Arica	Iquique	Antofagasta	Calama	Copiapó	Viña	Valparaíso	Rancagua	Concepción (inc. Talcahuano)	Temuco	Santiago
1998	15,6	25,3	21,6	13,0	9,1	33,3	18,2	17,0	39,0	19,8	278,9
1999	14,8	24,1	20,5	12,4	8,6	31,7	17,4	16,1	37,1	18,9	265,6
2000	14,1	22,9	19,5	11,8	8,2	30,1	16,5	15,4	35,3	18,0	252,7
2001	13,4	21,8	18,6	11,2	7,8	28,6	15,7	14,6	33,6	17,1	240,6
2002	12,8	20,7	17,7	10,7	7,4	27,3	14,9	13,9	31,9	16,3	229,2
2003	12,2	19,7	16,8	10,1	7,1	25,9	14,2	13,2	30,4	15,5	218,3
2004	11,6	18,8	16,0	9,7	6,7	24,7	13,5	12,6	28,9	14,7	208,0
2005	11,0	17,9	15,2	9,2	6,4	23,5	12,9	12,0	27,6	14,0	198,3
2006	10,5	17,0	14,5	8,8	6,1	22,4	12,3	11,4	26,2	13,4	189,1
2007	10,0	16,2	13,8	8,3	5,8	21,3	11,7	10,9	25,0	12,7	180,3
2008	9,5	15,4	13,2	8,0	5,5	20,3	11,1	10,4	23,8	12,1	172,0
2009	9,1	14,7	12,6	7,6	5,3	19,4	10,6	9,9	22,7	11,6	164,2
2010	8,7	14,0	12,0	7,2	5,0	18,5	10,1	9,4	21,6	11,0	156,8
2011	8,2	13,4	11,4	6,9	4,8	17,6	9,7	9,0	20,6	10,5	149,7
2012	7,9	12,8	10,9	6,6	4,6	16,8	9,2	8,6	19,7	10,0	143,1
2013	7,5	12,2	10,4	6,3	4,4	16,0	8,8	8,2	18,8	9,6	136,7
2014	7,2	11,6	9,9	6,0	4,2	15,3	8,4	7,8	17,9	9,1	130,8
2015	6,8	11,1	9,5	5,7	4,0	14,6	8,0	7,4	17,1	8,7	125,1

Fuente: ANAC, INE, Estudio GREDIS.

Caso de nudos de alta congestión vehicular

Un caso especial de emisiones móviles que es interesante señalar, correspondió a cantidades emitidas en nudos viales de alta congestión vehicular, que son bastante comunes en las principales ciudades del país, principalmente, en Santiago.

Para hacer tal estimación se revisó la estadística de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de la Dirección de Vialidad del MOP, para 1998. Se observa que ciudades más bien pequeñas llegan a 5.000 vehículos de TMDA. Ciudades mayores (como Valparaíso-Viña y Concepción) llegan a 30.000 vehículos. En Santiago, tal nivel en el mayor punto (cruce Pajaritos) es de 80.000 vehículos.

Con tales niveles de autos que circulan diariamente por los puntos de mayor congestión, se estimó un porcentaje de emisión total anual que podría “quedarse” en dichos puntos. A partir de una estimación global de horas diarias recorridas en promedio por un vehículo (que se estimaron en 3 hr/día-vehículo), y suponiendo, en consecuencia, que si una hora al día está destinada a pasar por el nudo (lo cual es extremo), entonces, hasta un 30% de la emisión anual de tales vehículos podría emitirse “concentradamente” en estos puntos.

El resultado de este cálculo se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro N°6:

Estimación de emisión máxima puntual por fuentes móviles en nudos de alta congestión vehicular

Ciudades	TMDA máximo	Autos a gasolina que emiten	Emisión total Pb asociada	Emisión Pb estimada en nudos de cong.
	(autos)	(autos)	(ton/año)	(ton/año)
Arica	5.500	4.840	2,7	0,8
Calama	16.000	14.080	8,6	2,6
Viña-Valpo.	20.000	17.600	10,8	3,2
Rancagua	27.000	23.760	14,6	4,4
Concepción	30.000	26.400	16,2	4,9
Temuco	6.500	5.720	3,5	1,1
RM	80.000	70.400	43,2	13,0

Fuente: Estudio O. Cerda 1999

4.3 Estimación de emisiones asociadas a fuentes fijas

Dentro de esta categoría se considerarán los acopios y movimiento de minerales de Antofagasta y Arica, las fundiciones de cobre, las fundiciones primarias y secundarias de plomo y otras fuentes fijas.

4.3.1. Acopios de minerales de Arica y Antofagasta

Las ciudades de Arica y Antofagasta son las únicas localidades conocidas que acopian y manejan importantes cantidades de minerales que contienen plomo, en zonas próximas a poblaciones humanas.

Situación de Arica

En diversas zonas de Arica se han acopiados minerales, procedentes de Bolivia y Perú, que contienen importantes concentraciones de plomo, como han sido el Barrio Industrial (Quebrada Encantada), Copaquilla y en terrenos de Ferrocarriles. Actualmente los minerales son acopiados en los recintos del Puerto de Arica, ubicado éste último en el centro de la ciudad.

El lugar del Barrio Industrial fue adecuadamente tratado, retirándose los residuos, cubriendo y rellenando la superficie con tierra arcillosa, piedras, plásticos, etc. A la fecha, se espera que este lugar no represente un foco de intoxicación para las personas. Algo similar ocurrió en Copaquilla. El terreno de Ferrocarriles, en cambio, utilizado para acopiar minerales, no ha sido a la fecha ambientalmente tratado.⁵

Actualmente, el transporte de los minerales se realiza aproximadamente en un 95% por ferrocarriles, en vagones semi cerrados, cubiertos por mallas de tipo *Rachel*. Los minerales son descargados en el Puerto y acopiados en él mismo para ser luego trasladados a los barcos, de acuerdo a los envíos, por medio de cintas transportadores, dispersándose parte del material en el aire y el mar.

Situación de Antofagasta

Otros concentrados de minerales procedentes de Bolivia ingresan al país para ser embarcados en el Puerto de Antofagasta. Los minerales son transportados por ferrocarriles desde Bolivia hasta Portezuelo, donde son acopiados y trasladados al Puerto por camiones y acopiados entre 1 a 4 días hasta su embarque.⁶

Estimación de emisiones de plomo en acopios para Arica y Antofagasta

Para propósitos de este estudio se usaron factores EPA para estimar emisiones de PTS y PM10 en faenas mineras, que consideran carguío de camiones con mineral, remoción y descarga de mineral, erosión eólica desde acopios, transferencia de materiales en cintas y operaciones de carga y descarga. Se supusieron condiciones típicas de operación, de porcentajes de humedad y grano fino en los concentrados, y condiciones extremas climáticas (respecto de niveles de precipitación y vientos).

Las cantidades anuales transportadas y acopiadas de concentrados se presentan en el cuadro N°7.

⁵ CONAMA Arica, comunicación personal, diciembre de 1999.

⁶ CONAMA Antofagasta, comunicación personal, diciembre de 1999,

Cuadro N°7: Características de los concentrados acopiados en Arica y Antofagasta.

Lugar	Cantidad de concentrados (ton/año)	% de plomo en concentrados	Cantidad de plomo en concentrados (ton/año)
Arica	166.995	23%	38.576
Antofagasta	219.355	29%	64.317

Fuente: Estudio O. Cerda (1999)

Con tales cantidades, que representan en el caso de Arica el promedio de varios años de operación y en Antofagasta el valor de 1999, y bajo las premisas de cálculo antes expuestas, se obtienen las siguientes emisiones asociadas a los acopios y la manipulación en el puerto.

Cuadro N°8: Emisión estimada de los puertos de Arica y Antofagasta

Lugar	Emisión estimada de plomo en PM10 (ton/año)
Puerto de Arica	17,6
Puerto de Antofagasta	21,4

Fuente: Estudio O. Cerda (1999)

Es interesante destacar que estos niveles de emisión dependen mucho más de las condiciones de operación que de los montos de concentrados movidos anualmente. En particular, es determinante la superficie del acopio y su situación respecto del viento dominante en el lugar. Para efectos de los cálculos, se supusieron siempre las condiciones más extremas de operación.

4.3.2. Fundiciones de Concentrados de Cobre

Se consideraron las fundiciones de Altonorte, Chuquicamata, Paipote, Potrerillos, Ventanas, Chagres y Caletones. Se usaron los montos medios anuales de concentrados procesados; en el caso de Altonorte, se consideró la expansión proyectada de operaciones de la planta. En el caso de Paipote y Ventanas, se consideraron también los concentrados de oro y plata procesados anualmente.

Para estimar emisiones de plomo, se utilizó una ley promedio de 0,05% de plomo en concentrados de cobre y 2% en concentrados de oro. Conociendo así el plomo de entrada al proceso, se analizó un balance típico de masas, para evaluar todas las salidas posibles de plomo en residuos, efluentes y gases, en este último caso emisiones por chimenea (que principalmente se captan) y fugitivas.

En definitiva, se hizo una estimación para obtener cantidades totales anuales de plomo emitido en gases fugitivos, las cuales son las relevantes para el presente estudio, dado las reducidas cantidades de material particulado que se emiten por chimenea. Dicha estimación fijó la salida de plomo en un 10% del de la entrada, para las plantas de mayor eficiencia; y en un 20% para las de menor eficiencia.

Resultados de la estimación en las fundiciones de cobre

Los valores estimados se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N°9: Estimación de emisión de plomo en fundiciones de cobre

Localidad	Emisión Total (ton/año)
Chuquicamata	70,0
Altonorte	20,0
Paipote	139,2
Potrerosillos	48,0
Ventanas	141,6
Chagres	20,0
Caletones	120,0

Fuente: Estudio O. Cerda (1999)

Un caso interesante, que conviene citar es el de ENAMI. Algunas estimaciones de la empresa de una ley de plomo de 0,4% en concentrados de cobre procesados para algunos meses resultan ser significativamente superiores al valor planteado anteriormente (0,05%). De este modo, para reforzar la estimación previa en el caso de ENAMI (Paipote y Ventanas), se supuso que hasta un 20% de los concentrados anuales procesados de cobre podrían tener esta ley de plomo. Por lo tanto, se estimaron emisiones totales anuales bajo este escenario “pesimista” respecto de la emisión de plomo equivalentes a 175,2 ton/año para Paipote y 205,6 ton/año para Ventanas.

4.3.3. Fabricación de ánodos de plomo para procesos de producción de cobre en plantas de refinación electrolítica

Al no contarse prácticamente con ninguna información sobre este proceso, es decir, ubicación de plantas (sólo se sabe que en Calama hay una fábrica importante), cantidades anuales procesadas y tipos de procesos involucrados, se estimó la cantidad anual requerida de ánodos en los procesos de refinación electrolítica, para todas las fundiciones que operan con esta tecnología en el país. Sobre esa base, se estimó una demanda anual de ánodos y se asumió que esta cantidad la genera la planta de Calama.

De tal modo, y suponiendo un proceso (poco eficiente) que pierde el 5% del total anual procesado de plomo en sus emisiones gaseosas, se llegó a una estimación de **49 ton/año** de emisiones de plomo, asociadas a fábricas de ánodos.

Para efectos de ubicar tal emisión, se supuso que el 100% se concentraba en Calama, dado que los mayores requerimientos de ánodos se concentran en el norte. (Aún así, cuando se analicen los efectos de emisiones sobre distintas zonas del país, conviene tener en cuenta que parte de este monto podría ser emitido en otro lugar).

4.3.4. Fundiciones secundarias de plomo en la Región Metropolitana

En este caso, los datos ocupados corresponden a estimaciones realizadas por PROCEFF. Consideran cuarenta fuentes emisoras (chimeneas) de fundiciones secundarias monitoreadas por PM10, ubicadas en distintas comunas de Santiago. En todos los casos, se hace una estimación de plomo basada en las emisiones de PM10, los tipos de procesos involucrados y factores de emisión

que relacionan ambos elementos, propuestos por EPA. De tal modo se obtiene un total de plomo emitido en Santiago (para estas fuentes) equivalente a **4,9 ton/año** distribuidas en diez comunas.

4.3.5. Fuentes emisoras de plomo en Talcahuano

Estudios anteriores⁷ señalan valores de emisión de plomo del orden de 400 ton/año para la Compañía Siderúrgica de Huachipato (CSH) en la VIII Región (Talcahuano). Información adicional recopilada con la propia fuente y con profesionales de los servicios públicos de la región señalan que dicho valor es muy poco probable y pudo haber sido estimado erróneamente.

Si bien no existen mediciones se consideró razonable asumir una emisión de 10 ton/año, equivalentes a un 2% de lo planteado originalmente. Esta cifra ya es de cierta magnitud y permite ver eventuales efectos en calidad atmosférica.

4.4 Análisis de Calidad del Aire: mediciones de concentraciones de plomo en material particulado respirable y establecimiento de relación entre emisiones de plomo y calidades del aire

La información disponible revisada es la contenida en el estudio realizado por GREDIS, que resume los datos generados por otros estudios, además de datos entregados por la Unidad Ambiental del Ministerio de Minería, ENAMI y CONAMA.

La información existente fue analizada con el objeto de caracterizarla de acuerdo a su cobertura espacial y temporal, las metodologías de medición utilizadas y el origen de los datos, así como para identificar carencias y/o inconsistencias.

Es importante notar que el registro de información disponible no corresponde a una red de vigilancia especialmente diseñada para evaluar las concentraciones de plomo en la fracción respirable del material particulado, sino que se trata de una recopilación de datos de origen y cobertura diversos, registrados en su mayoría con el objetivo de determinar niveles representativos de concentración de material particulado a escala local, y su composición química, en un contexto de diagnóstico de la calidad del aire. La excepción la constituye los datos generados por el estudio de GREDIS y las mediciones realizadas en Arica y Antofagasta por el Ministerio de Salud.

Se dispuso de datos de contenido de plomo en material particulado respirable para estaciones que operaron en ciudades de las regiones I,II, III, V,VI,VIII, y Región Metropolitana. No se contó con información sobre mediciones, en particular, para dos puntos de interés asociados a fundiciones de cobre: Altonorte y Caletones. El área donde se detecta inconsistencia en el orden de magnitud de la concentración de plomo en material particulado reportada por fuentes de información independiente, es en el entorno de Chagres (Catemu / Lo Campo).

Como regla general se optó por un criterio conservador para considerar estos datos, asumiendo como más representativas las mayores concentraciones reportadas.

⁷ Dames and Moore, 1994, informa 496 y 380 ton/años para la misma emisión de plomo.

Por último, dado que sólo en algunos de los puntos en que se determinó plomo en el material particulado existen antecedentes sobre el comportamiento de variables meteorológicas, se utilizó la información obtenida de los registros de la Dirección Meteorológica de Chile.

4.4.1 Valores adoptados como representativos de la calidad del aire en los puntos de mayor interés

Las concentraciones promedio en áreas bajo influencia dominante de fuentes móviles fueron estimadas a partir de los datos disponibles en estaciones de medición alejadas de fuentes fijas de magnitud y/o acopios. Las concentraciones promedio de áreas influenciadas por fuentes fijas de magnitud, acopios y/o zonas de embarque fueron obtenidas a partir de los datos de las estaciones instaladas en sitios cercanos a estas fuentes.

A los registros anteriores fueron agregados datos proporcionados por ENAMI para las fundiciones de Paipote y Ventanas, registradas en el período 1998-1999, y por CODELCO, para el mismo período. El siguiente cuadro resume los valores de concentración adoptados a partir de la información existente.

Cuadro N°10:

CONCENTRACIONES ADOPTADAS DE PB EN PM10

Ciudad	Concentración promedio Pb en PM10		
	ug/Nm3	Representa- tividad	Período medición
Arica	0,030	Fmov	< 5 meses
	0,054	Acopios	< 5 meses
Iquique	0,082	Fmov	> 5 meses
Calama	0,050	Ff	> 5 meses
Antofagasta	0,077	Fmov	< 5 meses
	0,550	Acopios/embarque	> 5 meses
Copiapó	0,107	Ff	> 5 meses
T Amarilla	0,215	Ff	5 meses
Paipote	0,267	Ff	> 5 meses
S Fernando	0,151	Ff	> 5 meses
La Serena	s/i	Fmov	
Valparaíso	0,241	Fmov	> 5 meses
Viña	0,202	Fmov	> 5 meses
Santiago	0,178	Fmov	< 5 meses
Rancagua	0,263	Fmov	> 5 meses
Concepción	0,044	Fmov	< 5 meses
Temuco	0,172	Fmov	> 5 meses
Entorno Fundiciones			
Chuquicamata	0,050	Ff	> 5 meses
Ventanas (Maitenes)	0,598	Ff	> 5 meses
Chagres	0,040	Ff	> 5 meses
Caletones	s/i	Ff	

Fuente: Estudio O. Cerda (1999)

Nota: "Fmov" = Fuentes móviles; "Ff" = Fuentes fijas

4.4.2 Estimación de relación emisión – calidad del aire

En el caso particular de los compuestos de plomo, y debido a su alta estabilidad bajo condiciones ambientales, es posible suponer que no existen mecanismos de remoción significativos; en consecuencia, la relación emisión-calidad sólo dependerá de los mecanismos de dispersión atmosféricos imperantes en las áreas de interés.

En una primera aproximación, considerando la inexistencia de mecanismos de remoción significativos de los compuestos de plomo, la escasa disponibilidad de datos de concentración en un mismo punto por períodos prolongados y la carencia de datos meteorológicos para aplicar herramientas de modelación complejas, se utilizará una relación de tipo lineal entre las emisiones y calidades ambientales observadas.

Los registros de concentración obtenidos por diferentes técnicas no se encuentran homologados, sin embargo, este ejercicio asumió estos datos como comparables.

Si bien la mayor parte de los datos registrados corresponden a períodos inferiores al año, se consideró que los datos disponibles de los años 1997 en adelante, son representativos de una escala anual.

En atención a la cobertura espacial de los registros de concentración disponibles, las relaciones emisión calidad fueron determinadas a escala local, esto es, para cada ciudad.

En cada caso se aplicó un modelo tipo caja, bajo el supuesto de la relación lineal entre emisiones y calidad. Este modelo permite obtener una estimación gruesa del orden de magnitud de las concentraciones esperadas. Los datos meteorológicos característicos necesarios para aplicar este tipo de modelo (es decir, velocidad (v) y dirección de vientos predominante y altura de inversión (H_m), ambos representativos de una escala anual) se obtuvieron a partir de criterio experto e información histórica disponible en la Dirección Meteorológica de Chile. En particular, las alturas de capa de mezcla fueron corroboradas por información entregada por la Universidad de Wisconsin.

Las emisiones totales en las ciudades alejadas de megafuentes corresponden a aquellas provenientes de fuentes móviles; en el caso de la ciudad de Copiapó se incorporó a las fuentes móviles las emisiones provenientes de la fundición de Paipote. Igual cosa se hizo para Calama, en donde también se agregó la emisión procedente de la producción de ánodos de plomo. Para el caso de Ventanas y el entorno de Chagres y Altonorte, las emisiones totales fueron consideradas como provenientes sólo de las fundiciones. En el caso de Santiago y Concepción, a las fuentes móviles se sumó la emisión agregada de las fundiciones secundarias de plomo e industrias varias registradas por PROCEFF en el primer caso, y las supuestas de origen industrial en el caso de Concepción.

En la tabla siguiente se muestra el resultado del ejercicio.

Cuadro N°11:

Estimación relación emisión-calidad

Ciudad	Vel prom viento	Dirección predominante	Área (km ²)	Altura Hm max.	Fuentes fijas	Fuentes móviles	Emisiones totales	Estimación Concent. promedio	Estimación Concent. Máxima	Concent. Medida
	m/s			m	ton/año	ton/año	ton/año	ug/m3	ug/m3	ug/Nm3
Arica	3,60	SW	30,8	1000	18,00	15,60	33,60	0,037	0,259	0,030
Iquique	5,14	SW	13,8	1000		25,30	25,30	0,016	0,156	0,082
Calama	8,66	E-W	14,1	1000	119,00	13,00	132,00	0,019	0,036	0,050
Antofagasta	5,23	S	32,3	1000	22,00	21,60	43,60	0,026	0,269	0,077
Copiapó	3,86	W	27,3	1500	139,20	9,10	148,30	0,041	0,457	0,267
La Serena	3,52	W	28,9	1500		12,40	12,40	0,011	0,073	s/i
Viña del Mar	1,63	S-W	64,9	1500		33,30	33,30	0,062	0,195	0,202
Valparaíso	4,80	SW	29,1	1500		18,20	18,20	0,020	0,187	0,241
Valparaíso	1,63	S-W	29,1	1500		18,20	18,20	0,059	0,187	0,241
Santiago	2,40	SW	441,7	1500	4,85	278,90	283,75	0,125	1,749	0,178
Santiago	1,80	SW	441,7	1500	4,85	278,90	283,75	0,167	1,749	0,178
Rancagua	2,40	SW	27,3	1500		17,00	17,00	0,015	0,211	0,263
Concepción (y Talca.)	5,57	SW	103,7	1000	9,40	39,00	48,40	0,011	0,060	0,044
Temuco	3,17	SW	31,4	1000		19,80	19,80	0,040	0,488	0,172
Fundición	Vel prom viento	Dirección predominante	Área (km ²)	Altura Hm max.			Emisiones totales	Concent. promedio	Concent. Máxima	
	m/s			m			ton/año	ug/m3	ug/m3	
Altonorte	5,23	S		1000			20,00	0,008	0,082	s/i
Ventanas	4,80	SW		1000			141,60	0,047	0,440	0,598
Chagres	2,40	SW		1500			20,00	0,009	0,123	0,040
Caletones	2,40	SW		1500			120,00	0,042	0,597	s/i

Análisis de resultados de la modelación de la calidad del aire

La existencia de fuentes fijas origina la existencia de puntos de mayor concentración en el entorno inmediato, observándose un impacto de escala local (no afecta toda el área de una ciudad). En esta situación, las estimaciones de concentración se hicieron considerando este supuesto ajustando los parámetros a esta escala.

Para el caso de las fuentes móviles y fuentes fijas que afectan a zonas urbanas extensas (por ejemplo Santiago), los parámetros de la modelación asumen un área de impacto que refleja esta situación.

Dado lo anterior, se decidió realizar dos análisis con los datos disponibles: uno de gran escala para las ciudades, en donde las emisiones provienen de las fuentes móviles y fijas identificadas; y otro de escala local para las áreas cercanas a fuentes fijas.

a) Análisis de gran escala

El primer análisis consistió en generar una “concentración esperada” (ver cuadro N°12, 5ª columna “Estimación Concent. Esperada”), que asigna una probabilidad de ocurrencia de un 80% a la concentración media estimada y de un 20% a la condición de concentración máxima estimada. La elección de tales ponderadores se basa en que las condiciones meteorológicas extremas (que generan las mayores concentraciones) ocurren no más de 40 días al año, en invierno, en gran parte del país.

Cuadro N°12:

Estimación de concentraciones de Pb en aire esperadas, por localidad

Ciudad	Emisiones totales	Estimación Concent. promedio	Estimación Concent. Máxima	Estimación Concent. Esperada	Concent. Medida
	ton/año	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/N m ³
Arica	33,60	0,037	0,259	0,081	0,030
Iquique	25,30	0,016	0,156	0,044	0,082
Calama	132,00	0,019	0,036	0,023	0,050
Antofagasta	43,60	0,026	0,269	0,075	0,077
Copiapó	148,30	0,041	0,457	0,124	0,267
La Serena	12,40	0,011	0,073	0,023	s/i
Viña del Mar	33,30	0,062	0,195	0,088	0,202
Valparaíso	18,20	0,020	0,187	0,053	0,241
Valparaíso	18,20	0,059	0,187	0,085	0,241
Santiago	283,75	0,125	1,749	0,450	0,178
Santiago	283,75	0,167	1,749	0,483	0,178
Rancagua	17,00	0,015	0,211	0,054	0,263
Concepción (y Talca.)	48,40	0,011	0,060	0,021	0,044
Temuco	19,80	0,040	0,488	0,129	0,172
Fundición	Emisiones totales	Concent. promedio	Concent. Máxima	Estimación Concent. Esperada	Concent. Medida
	ton/año	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/N m ³
Altonorte	20,00	0,008	0,082	0,023	s/i
Ventanas	141,60	0,047	0,440	0,125	0,598
Chagres	20,00	0,009	0,123	0,032	0,040
Caletones	120,00	0,042	0,597	0,153	s/i

En el caso del análisis de gran escala, se comparó el valor esperado de concentración media anual de plomo con la propuesta de norma, para identificar las localidades que registran concentraciones del orden de magnitud de la norma y, por tanto, resultan de interés. En otras palabras ¿en qué ciudades las fuentes móviles y fijas, en conjunto, pueden hoy día acercarse a la superación de norma?

Como resultando se obtiene, observando los valores esperados calculados, que las siguientes localidades muestran valores de calidad del mismo orden de magnitud que la norma: Copiapó, Ventanas, Santiago, Caletones y Temuco. Debe recordarse que el valor esperado anual contiene un 80% de datos cuyo promedio es la media conocida y un 20% del tiempo se darían los valores máximos definidos, correspondiendo por lo tanto un peor escenario. De esta lista de áreas se debe eliminar Caletones, dada la ausencia de habitantes en el área circundante a dicha fuente.

b) Análisis de escala local o microescala

El análisis de escala local, consistió en usar el mismo modelo de dispersión y los mismos parámetros, pero esta vez usando un kilómetro como longitud mínima de dispersión de contaminantes. Luego se fijó el nivel de calidad meta establecido por la norma (0,5 ug/m³N) para que el modelo señale la “emisión crítica”, que permita alcanzar dicho valor de calidad en puntos específicos. De esta manera se puede comparar la emisión puntual crítica estimada por el modelo y la emisión conocida de las fuentes fijas, identificando por simple comparación si la emisión conocida supera o no los valores críticos calculados (ver cuadro N°13).

Cuadro N°13:

Estimación de emisiones fijas críticas, por localidad

Ciudad	Vel prom viento	Altura Hm media	Longitud mínima	Fuentes fijas	Concent. Propuesta	Estimación de emisión puntual crítica
	m/s	m	km	ton/año	ug/m ³	ug/m ³
Arica	3,60	1000	1,00	18,00	0,50	56,78
Iquique	5,14	1000	-			
Calama	8,66	1000	1,00	119,00	0,50	136,54
Antofagasta	5,23	1000	1,00	22,00	0,50	82,46
Copiapó	3,86	1250	1,00	139,20	0,50	76,04
La Serena	3,52	1500	-			
Viña del Mar	1,63	1500	-			
Valparaíso	4,80	1500	-			
Valparaíso	1,63	1500	-			
Santiago	2,40	1000	-			
Santiago	1,80	1000	1,00	4,85	0,50	28,39
Rancagua	2,40	1000	-			
Concepción (y Talca.)	5,57	750	1,00	9,40	0,50	65,90
Temuco	3,17	750	-			
Fundición	Vel prom viento	Altura Hm media	Longitud	Fuentes fijas	Concent. Propuesta	Estimación de emisión puntual crítica
	m/s		km	ton/año	ug/m ³	ug/m ³
Altonorte	5,23	1000	1,00	20,00	0,50	82,46
Ventanas	4,80	1000	1,00	141,60	0,50	75,70
Chagres	2,40	1000	1,00	20,00	0,50	37,85
Caletones	2,40	1000	1,00	120,00	0,50	37,85

En este caso la pregunta es ¿en qué ciudades una fuente fija puede causar que se supere la norma en un área específica?

Conclusiones de los ejercicios de modelación realizado

Con los resultados señalados en los cuadros precedentes, se identifican los siguientes puntos de interés:

- En los acopios de **Arica y Antofagasta**, desde el punto de vista del análisis de escala local, la emisión crítica excedería la norma tres o cuatro veces la emisión actual, por lo que no debiera generarse problemas. Sin embargo los valores de emisión estimados para los acopios dependen fuertemente del modo en que se ejecuten las operaciones de transporte, la forma de las pilas en el puerto y las formas de carga de los barcos; por lo que se considera que dichos valores críticos de emisión son fácilmente alcanzables.

Desde un punto de vista de toda la ciudad y considerando tanto la emisión proveniente de fuentes móviles como los acopios, se estima que la norma no sería sobrepasada actualmente y como la tendencia es a la baja en el caso de la móviles, los valores no representarían riesgo en el futuro.

- En la **Fundición Altonorte**, la emisión actual es un cuarto de la crítica y no existen poblaciones en las cercanías. De todos modos se considera que correspondería a una zona de riesgo en caso de habitarse o de incrementar la producción significativamente.

- **Entorno de Fundición Paipote (Copiapó y Tierra Amarilla) y Ventanas (Puchuncaví).** El análisis de escala local para estas dos fuentes señala que la emisión crítica es menor que la estimada, por lo que existiría en la actualidad riesgo de exceder norma en áreas puntuales cercanas a las fuente.

A gran escala ambas áreas estarían con concentraciones del mismo orden de magnitud que el valor de norma, por lo que se considera probable que por alguna de estas razones las fundiciones podría enfrentar exigencias de reducción en las emisiones fugitivas.

- En la **Fundición Chagres**, la emisión establecida para dicha fuente es cercana a la mitad de la emisión crítica para excedencias a escala local. Por lo tanto, se considera una zona de riesgo en este análisis, ya que ante condiciones desfavorables, podría presentar concentraciones cercanas a la norma en su entorno inmediato. Esta zona se trata de una zona agrícola con presencia de cultivos agrícolas y población rural dispersa.
- Para la zona industrial de **Santiago** y considerando efectos de nivel local, se ve que se requeriría una emisión concentrada en un sector casi seis veces la existente actualmente en la ciudad (repartida en 10 comunas) para producirse una excedencia de la norma en tal sector. Si bien esto es improbable en las condiciones actuales, por la incertidumbre de los datos y por corresponder a una zona con crecimiento industrial importante, no se puede descartar que en ausencia de regulación se lleguen a estos niveles de emisión que generen tales excedencias de tipo local. Algo similar puede ocurrir en **Concepción - Talcahuano** y en general en las zonas de alta concentración industrial en ausencia de normativas para este contaminante.

Desde un punto de vista global **Santiago** también estaría en el mismo orden de magnitud que el valor de la norma si bien la tendencia de los últimos años y futuras es la baja en las concentraciones por el efecto de la gasolina sin plomo. Esto permite suponer que a nivel global no hay posibilidades de excedencias.

- Para **Temuco**, finalmente, los riesgos provienen de las emisiones de fuentes móviles cuyo nivel debe ir en descenso en los próximos años, razón por la cual hace pensar que el riesgo debiera reducirse en ausencia de regulación.

4.5. Análisis de impactos potenciales en salud por contaminación por plomo en aire en áreas de interés y en ausencia de regulación (Escenario sin norma).

4.5.1. Estimación de la población susceptible a daños por contaminación por plomo en las áreas críticas identificadas .

Áreas de riesgo

Las estimaciones precedentes (punto 4.4.) permiten centrar el análisis en los puntos de mayor probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación por plomo en el aire en el corto o largo

plazo, dependiendo de cómo evolucionen las actividades emisoras y en el supuesto de ausencia de regulación.

Fracción de la población susceptible a daño

Según el estudio de GREDIS los lactantes son particularmente susceptibles a la contaminación por plomo, dado por su sistema nervioso en desarrollo, menor masa corporal, mayor capacidad de absorción y menor tasa de eliminación. En este grupo, el plomo produce efectos neurológicos, hematológicos, metabólicos y cardiovasculares.

En consulta con el Centro de Información Toxicológica y de Medicamentos de la U. Católica señala que niños entre 0 y 6 años son los que requieren de tratamiento ambulatorio a niveles por sobre 20 ug/dl en sangre. Bajo ese nivel no se recomienda tratamiento pero se reconoce que existiría algún tipo de daño a largo plazo.

Con este antecedente se ha decidido considerar como población vulnerable para los efectos de la evaluación de los impactos económicos a la población de entre 0 y 6 años de las localidades identificadas.

Cantidad de población vulnerable en las áreas de riesgo

Utilizando datos del último censo de población y vivienda del INE, de 1992, se estima la población de las áreas de riesgo identificadas. Se supuso un crecimiento anual del 1,5% en todas las localidades, que corresponde a una media nacional.

Para estimar la fracción susceptible en todos los casos de interés, se analizó la estructura de edades de la población censada por INE en 1992, a nivel nacional, para zonas urbanas. Se supuso que la dispersión de edades de las distintas localidades es igual a la media nacional.

4.5.2 Relación entre concentración de plomo en aire y niveles de plomo en sangre

Para establecer esta relación se usarán antecedentes proporcionados por diversas publicaciones, citadas en los estudios técnicos que CONAMA tuvo a la vista para definir el nivel deseable de norma, en particular en GREDIS (1999).

La relación más relevante y que se empleará para los cálculos de la evaluación es la siguiente:

$$\text{Plomo en sangre (ug/dl)} = 5 * \text{Nivel de plomo en aire (ug/m}^3\text{N)} + 3$$

El valor de “3” refleja un nivel mínimo basal atribuible a otras fuentes distintas de las dispersadas por el aire.

Tipos de efectos a incluir en la valoración

En cuanto a dosis, la exposición crónica a bajas concentraciones en lactantes (entre 10 y 25 ug/dl) está asociado con una reducción en el coeficiente intelectual a los 4 años entre 1 y 5 puntos por

cada 10 ug/dl de aumento. Bajo este valor, el efecto de variables confundentes y la falta de precisión de las mediciones de desarrollo psicomotor hacen difícil la detección de efectos, pero hay consenso que no habría umbral para el daño.

En términos de efectos clínicos y los tratamientos recomendados para los diferentes niveles, GREDIS señala que en niños niveles de entre 12 y 30 ug/dl corresponde a una exposición leve a moderada y se recomienda eliminar la exposición y suplementar la nutrición.

Por otra parte, datos obtenidos en el Centro de Información Toxicológica y de Medicamentos de la Pontificia Universidad Católica de Chile, señala que niveles en niños entre 10 y 20 ug/dl sólo existirían efectos de largo plazo y que sobre 20 se hace necesario, al menos, el tratamiento ambulatorio.

Una manera conservadora de interpretar estos datos, para los propósitos de este estudio, es suponer que las primeras reacciones que causarán efectos cuantificables se producen cuando el nivel de plomo en sangre supera los 10 ug/dl para los efectos cognitivos de largo plazo y los 20 ug/dl para los efectos inmediatos (tratamiento ambulatorio); por lo tanto, se supondrá que no habrá efectos cuantificables antes de estos niveles.

Por lo tanto, la población afectada desde un punto de vista de efectos económicos será la de niños de 0 a 6 años en los puntos de interés y niveles de concentración en sangre de 10 y 20 ug/dl, para los efectos cognitivos y tratamientos médicos respectivamente. Esto hay que entenderlo como una simplificación para hacer la evaluación y no como una afirmación de que podrían aceptarse niveles de plomo en sangre bajo 10 ug/dl ya que no se producirán consecuencias para la población.

Es importante señalar, que los mismos antecedentes sitúan en 60 ug/dl los niveles críticos de plomo para adultos.

Considerando los antecedentes de EPA (Morgenstern, 1997) y los antes señalados, los tipos de efectos a analizar en niños son los siguientes:

- Requerimiento de tratamiento ambulatorio con medicamentos (a niveles de 20 ug/dl),
- Necesidad de refuerzo escolar para compensar efectos cognitivos detrimentales (niveles de plomo en sangre de 10 ug/dl),

Adicionalmente, y para reflejar los daños de largo plazo en la salud de los niños eventualmente expuestos a plomo, se ha propuesto incluir un indicador del efecto económico del daño cognitivo definido de la siguiente manera:

- Pérdida parcial en la capacidad de generación de ingresos por daño cognitivo durante la infancia (niveles de plomo en sangre mayor a 10 ug/dl antes de los 6 años).

4.5.3 Niveles actuales de plomo en sangre y niveles de riesgo desde un punto de vista de la evaluación económica

Siguiendo las relaciones establecidas en el punto precedente, para que existan efectos cuantificables por presencia de plomo en sangre (10 y 20 ug/dl), debe haber –de modo sistemático- un nivel de plomo en aire igual a 1,4 y a 3,4 ug/m³N respectivamente.

De acuerdo a los análisis de emisiones aquí realizados, y a los niveles de calidad del aire, tanto estimados como medidos, no existiría en la actualidad ninguna área en el país en que –de modo sistemático- se alcance o supere el nivel crítico desde el punto de vista de la salud de las personas.

En efecto, las concentraciones esperadas –y también las medidas- están prácticamente todas bajo 0,5 ug/m³N. (Salvo una estación de ENAMI Ventanas, donde para un año se supera levemente este valor). Esto significa un nivel del orden de los 5,5 ug/dl en personas.

4.5.4 Niveles futuros de plomo en sangre en ausencia de regulación

A continuación se hace una proyección a 25 años de las emisiones provenientes de fuentes fijas en todos los puntos de interés, suponiendo: ausencia de norma (no existe ningún tipo de control estatal a las emisiones de plomo), un crecimiento del 10% anual de las actividades que las emiten, un 2% de aporte de fuentes móviles (como *background*) y concentración de las emisiones provenientes de fuentes fijas en un punto (condición de mala dispersión). La condición de mala dispersión es coherente con el criterio de identificar el efecto que podría ocurrir en las poblaciones expuestas en los entornos más inmediatos a las fuentes fijas (un kilómetro a la redonda).

De este modo, se estimó cuando se llegará a niveles de contaminación peligrosos que implican refuerzo educacional y reducción en la capacidad de generación de ingresos en las poblaciones afectadas (1,4 ug/m³N), así como cuándo se llegaría a niveles que producen intoxicaciones tratadas ambulatoriamente (3,4 ug/m³N).

Los resultados señalan que en las cercanías de las fundiciones de Paipote y Ventanas se alcanza el valor de 1,4 ug/m³N en el año 2004, en Arica el 2022, Santiago 2023 y Antofagasta en el 2024.

Los únicos lugares de superación del límite de efectos cuantificables en salud (3,4 ug/m³N) se darían en Copiapó y Ventanas, el año 2013. Esto significa que los puntos donde deben estimarse costos en salud en ausencia de normativa, corresponden a estas zonas en los años citados.

En los acopios no se llegaría a superar los 3,4 ug/m³N en el horizonte de 25 años proyectados. No obstante, hay que recordar que las emisiones de los acopios no dependen tanto de las cantidades manipuladas (que son las sujetas a proyección), sino del modo en que se manipulen dichas cantidades. Por lo tanto, si bien en estos últimos años se ha hecho un esfuerzo por reducir las zonas de acopio en puerto y por realizar las faenas con mayores precauciones, esto puede explicarse básicamente por la alarma pública que causó en años previos los altos niveles de plomo en sangre detectados en niños que habitaban cerca de estas faenas. Por lo tanto, si el tema se olvida y no hay normas ni niveles de referencia que monitorear, bien podría revertirse rápidamente las condiciones actuales. Dado estas consideraciones, se incluirá en la proyección

suponiendo que en 5 años se superarán los niveles críticos (nivel 3,4 ug/m³N) como consecuencia del eventual mal manejo (2005).

5. ESCENARIO CON NORMA: IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE MONITOREO, ESTABLECIMIENTO DE PLANES DE PREVENCIÓN O DESCONTAMINACIÓN, INVERSIONES EN DESCONTAMINACIÓN Y DAÑOS EVITADOS EN SALUD.

En ausencia de norma se ha establecido que existe un riesgo de superar los niveles que determinan daños en las poblaciones, redundando en refuerzo escolar, pérdida de capacidad de generación de ingresos y costos por tratamiento médico ambulatorio.

Si se dictara el presente anteproyecto la primera medida a considerar como consecuencia de dicha dictación es la implementación de redes de monitoreo en las áreas de riesgo, para luego establecer zonas latentes o saturadas.

Analizando las proyecciones de crecimiento de las emisiones descritas en la página anterior, la condición de latencia de la norma podría ocurrir una vez dictada la norma en Paipote y Ventanas, asumiendo que ocurren condiciones meteorológicas adversas produciendo que las emisiones observadas de fuentes fijas en el área se concentran; a esto además se le suma un 2% de la emisión de las fuentes móviles de dicha área.

Con esto supuestos, Arica entraría en latencia en el año 2009, Santiago en el 2010 y Antofagasta en el 2011. Este valor determina la fecha de dictación de un plan de prevención e inicio de las actividades de descontaminación o control de emisiones por parte de los emisores.

Si se implementa el presente anteproyecto, ocurriría que estas tendencias debieran revertirse al implementarse planes de prevención o descontaminación, al momento de detectarse en las redes de calidad del aire valores cercanos a la norma. Estos planes, exigirán las reducciones a las fuentes y el beneficio cuantitativo será evitar los daños cuantitativos que se generan a niveles superiores a los valores normados (1, 4 y 3,4 ug/m³N para los distintos impactos identificados).

En este escenario, los daños valorables se evitan completamente al existir instrumentos de detección, prevención y/o descontaminación que evitan que se llegue a niveles en que los daños tienen una expresión económica (tratamientos, refuerzo escolar o menores ingresos futuros).

El siguiente capítulo detalla los costos y los beneficios de implementar el presente anteproyecto, siguiendo la lógica aquí descrita.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA

En este capítulo se detallan los supuestos y consideraciones para realizar una evaluación económica del presente anteproyecto, y se agrupan y resumen los antecedentes cuantitativos y monetarizables anteriormente expuestos sobre los impactos de la norma, llevándolos a una medida comparable que es el valor presente neto.

Adicionalmente se añaden otros antecedentes no monetarios y otros no cuantificados por insuficiencias en la información, de manera de hacer una presentación más amplia de las implicancias de la aplicación del presente anteproyecto.

6.1. Consideraciones para efectuar la evaluación

De acuerdo a los antecedentes previos, se usarán los siguientes criterios y supuestos en la evaluación:

- La evaluación de la norma implica comparar los costos y beneficios de pasar de una situación sin norma a otra con norma y todas las implicancias que fundadamente se derivan de la aplicación de este instrumento.
- Concretamente, la norma generará de manera directa costos al Estado por monitoreo de la calidad del aire en áreas determinadas y costos para el Estado por elaboración de planes de prevención o descontaminación, en la eventualidad de que se eleven las concentraciones a los niveles en que se dictan estas herramientas de gestión.
- Como consecuencia de la aplicación de planes, debieran generarse costos a los emisores y beneficios a las poblaciones por los daños evitados en la salud fruto del control de la contaminación.
- Para efectos de la evaluación, en aquellos casos que se implementen planes de prevención y se tenga antecedentes que en ausencia de éstos se llegarán a niveles de riesgo para la salud, se supondrá que el 100% de los niños que viven dentro del área de impacto de las emisiones serán beneficiados por los daños evitados.
- Los beneficios serán, dependiendo del nivel de la concentración atmosférica que se evita con el plan, costos de tratamientos médicos evitados (en caso de intoxicaciones leves con niveles por sobre 20 ug/m³N) y daños cognitivos evitados, expresados como refuerzo escolar evitado durante los 12 años de vida escolar y como pérdida parcial de ingresos evitada durante toda su vida laboral.
- Todos los flujos serán expresados en UF (unidades de fomento) y descontados al 12%; incluso los asociados a pérdida de productividad laboral. El valor empleado para la UF es de \$15.000 y para convertir dólares americanos a pesos una tasa de 520 pesos por dólar.
- Los impactos y las zonas identificadas como potenciales receptoras de planes de prevención y descontaminación, según lo señalado en el capítulo 4, y que son materia de la evaluación serán las resumidas en el siguiente cuadro, en donde además se resume los impactos considerados en este ejercicio.

Cuadro N°14: Resumen de costos y beneficios monetarizados asociados a la dictación del anteproyecto de norma

Agente	Impacto	Beneficio monetarizado	Costo monetarizado
Estado	Implementación de red de monitoreo en áreas de riesgo del país		Costo de inversión y operación de la red de monitoreo
Estado	Actividades necesarias para diseñar e implementar planes de prevención/descontaminación en las cinco zonas identificadas: Arica, Antofagasta, Paipote, Ventanas, Santiago.		Costos administrativos y estudios de apoyo asociados a declaración de zona saturada/latente y elaboración de planes de descontaminación/preven- ción
Emisores	Actividades de descontaminación en caso de existir planes de prevención o descontaminación en las cinco zonas identificadas		Costos de inversión y operación asociados a control de la contaminación en acopios y fundiciones principalmente.
Población de zonas saturadas o latentes	Control o prevención de daño a la salud por exposición a niveles de plomo en las cinco zonas identificadas	Valoración de daños evitados: costos de tratamientos, reforzamiento escolar, pérdida parcial de ingresos	

6.2. Valores unitarios empleados en la evaluación

Los impactos que se monetizan se señalan a continuación, así como los supuestos y las metodologías de cálculo. La siguiente tabla muestra los valores unitarios identificados para cada impacto incorporado a la evaluación, y da una explicación breve de la forma de cálculo.

Cuadro N°15: Valores unitarios incorporados a la evaluación y metodología de cálculo

Item	Valores empleados	Metodología de cálculo
Abatimiento de emisiones de acopios en Arica	Costo de Inversión: 5.059 UF (Costo Anual Equivalente, CAE) Costo mantención: 907 UF/año Costo operación adicional: 2.947 UF/año	Diseño de solución a través de opinión de expertos y valoración a precios de mercado
Abatimiento de emisiones de acopios en Antofagasta	Costo de Inversión: 4.689 UF (CAE) Costo mantención: 888 UF/año Costo operación adicional: 3.813 UF/año	Diseño de solución a través de opinión de expertos y valoración a precios de mercado
Redestino de un porcentaje concentrado de cobre y oro tratados por ENAMI Paipote a otras fundiciones menos exigidas ambientalmente	Costo total por redestino concentrado de cobre y oro: 12.659 UF anual • Cobre 12.332 UF/año • Oro: 326 UF/año	Se redestina 10% de lo tratado actualmente. El costo incremental del flete a la nueva fundición se estima en un 15% del valor de los concentrados. Valor de los concentrados de US\$139 y US\$33 por tonelada de cobre y oro respectivamente.
Redestino de un porcentaje concentrado de cobre y oro tratados por ENAMI Ventanas a otras fundiciones menos	Costo total por redestino concentrado de cobre y oro: 22.278 UF/año • Cobre: 22.002 UF/año • Oro: 276 UF/año	Se redestina 10% de lo tratado actualmente. El costo incremental del flete a la nueva fundición se estima en un 15% del valor de los concentrados. Valor de los concentrados de US\$139 y

exigidas ambientalmente		US\$33 por tonelada de cobre y oro respectivamente.
Costo de tratamiento ambulatorio de niño expuesto a 20ug/dl o más de plomo en sangre (3,4 ug/m³N en aire)	Costo por tratamiento más un porcentaje del salario equivalente perdido del adulto que acompaña niño: 10,1 UF por año de excedencia	\$130.000 por tratamiento a precio de mercado. \$21.000 por salario perdido por adulto que acompaña niño, calculado como 25% del salario medio de 20 días
Costo de refuerzo educacional anual en niños expuestos a niveles por sobre 10ug/dl en sangre	6,4 UF/niño-año 76,8 UF/niño-12 años	25% de la diferencia en el valor mensual de la asignación por estudiante de “educación normal” versus “educación diferencial” por mes: \$9.673
Costo asociado por pérdida de productividad laboral futura en niños expuestos a niveles sobre 10 ug/dl en sangre	Costo anual de pérdida laboral de 26 UF/persona-año o 209,43 UF en 30 años (VPN)	Salario inferior de 25% correspondiente a la diferencia entre el salario de un técnico calificado y uno sin calificación; Valor laboral medio por persona al año de US\$3.000, que corresponde a un 60% del PIB per cápita
Instalación y operación de red de monitoreo.	Inversión en monitores adicionales de 1.658 UF/año (CAE) Operación de la red atribuible a la norma de plomo 6.613 UF/año	Se aplica criterio de implementar red en todas ciudades que poseen número significativo de automóviles en circulación o fuentes fijas. Además se incluyen las ciudades con fuentes emisoras de plomo. Para efectos de la evaluación se supuso que un 50% de la mayoría de los equipos y personal considerados serían atribuibles al plomo. Se estimó necesario invertir en 14 monitores, que se agregan a los actualmente existentes, varios de los cuales no tienen carácter permanente o no pertenecen a una red pública de medición.
Costos del Estado por elaboración de plan de descontaminación o prevención	Costo por plan de prevención: 2.667 UF	Se asumió un valor incremental atribuible a este anteproyecto de \$40 millones por plan de prevención que recaen sobre la CONAMA
Monitoreo de plomo en sangre	1.771 UF anuales	Monitoreo de plomo en sangre en las poblaciones más expuestas. Supone mediciones bi-anales, un valor de \$ 25.000 por toma de muestra y análisis, y un costo de \$ 30 millones (cada dos años), para sub-contratar servicios de análisis e interpretación de resultados. Las muestras consideradas corresponden al 7,7% del universo (haciendo un cálculo preliminar de distribución normal de datos e intervalos de confianza).

6.3. Flujos de costos y beneficios en un horizonte de 25 años

Adicionalmente a lo señalado en capítulo 6.1, para realizar el flujo se plantean los siguientes supuestos:

- 1) Se dictan planes de prevención, se realizan las inversiones en descontaminación y se evitan los daños en las siguientes ciudades y años:

Cuadro N°16: Fechas empleadas para la confección del flujo de costos y beneficios

Zona	Fecha de costos por elaboración de plan	Fecha de inversiones en descontaminación	Fecha de inicio de daños evitados
Arica	2003	2004	2005 (tratamiento médico y educación) 2020 (ingresos laborales)
Antofagasta	2003	2004	2005 (tratamiento médico y educación) 2020 (ingresos laborales)
Paipote	2003	2004	2004 (educación) 2013 (tratamiento médico) 2019 (ingresos laborales)
Ventanas	2003	2004	2004 (educación) 2013 (tratamiento médico) 2019 (ingresos laborales)
Santiago	2010	2011	2023 (ingresos laborales)

Para determinar los años de dictación de plan de prevención y la ocurrencia de los daños evitados se realizó lo siguiente:

- i. Para cada zona crítica identificada (Arica, Antofagasta, alrededores de Paipote y Ventanas y Santiago) se estimó la calidad resultante proveniente de la(s) emisión(es) de fuente(s) fija(s) identificadas en dicho punto más un *background* de un 2% de la emisión de fuentes móviles de dicha ciudad. En el caso de Santiago, en donde hay cerca de 40 fuentes fijas identificadas, se concentró las existentes en tres comunas contiguas con las más altas emisiones registradas (Santiago, San Miguel y San Joaquín).
- ii. La emisión resultante del punto anterior se introdujo en un modelo de dispersión asumiendo condiciones desfavorables para la dilución de las partículas, esto es dispersión en un radio de 1 km alrededor de la fuente.
- iii. Esta emisión crece a una tasa de un 10% anual producto de un probable crecimiento de la actividad industrial.
- iv. La fecha de inicio de planes de prevención es cuando la calidad resultante del punto iii. anterior alcanza los $0,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$.
- v. La fecha para los costos evitados por tratamiento médico es cuando la concentración estimada en el punto iii. de mas arriba alcanza $3,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$. En el caso de Arica y Antofagasta se aplicó otro criterio (un plazo fijo de cinco años desde ahora) dado que la emisión de los acopios depende fuertemente del manejo que se haga, lo cual lo hace poco sensible al crecimiento de las toneladas transportadas y acopiadas.
- vi. La fecha para los costos evitados por refuerzo escolar son cuando la concentración alcanza $1,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$ en el aire o los cinco años para Arica y Antofagasta descritos en el punto anterior.
- vii. La fecha para los costos evitados por pérdidas en la capacidad de generación de ingresos ocurre 15 años después de sobrepasar el nivel $10 \text{ ug/m}^3\text{N}$, o en el caso de Arica y Antofagasta, 15 años después de excederse la norma al 5° año por fallas en el manejo de las sustancias transportadas.

- 2) Las redes de monitoreo comienzan a operar en el año 2001 en todas las ciudades consideradas.

Resultados de la evaluación

El cuadro N°17, páginas siguientes, presenta el flujo a 25 años que muestra los costos y los beneficios de la implementación del anteproyecto de norma de calidad de plomo en el aire. Los supuestos y detalles de los valores empleados para este ejercicio se han señalado anteriormente.

El valor presente de los costos y beneficios estimados alcanza 44.036 UF, que significa que en el flujo de 25 años los beneficios cuantificados superan en esa cifra los costos totales, que incluyen a los emisores y al Estado. En los 12 primeros años los costos superan los beneficios, lo que se revierte a partir del año 13 y hasta el final de la evaluación. Esto da cuenta de que los beneficios de la norma crecen en el mediano y largo plazo, dado por el tipo de impacto en materias como educación y capacidad de generación de ingresos.

Se puede decir que los costos los deberán asumir el Estado (principalmente de monitoreo de plomo en aire y en sangre y de diseño e implementación de planes de prevención o descontaminación) y los emisores. En el caso de los acopios presumiblemente la empresa portuaria y/o transportista de los concentrados y en las fundiciones de ENAMI afectadas los pequeños y medianos productores que tienen leyes altas de plomo en sus concentrados.

Por el lado de los beneficios, esto recaen directamente sobre las poblaciones potencialmente afectadas, y de manera indirecta por el Estado, al ser éste el que financia parte de la atención en salud y educación.

No se incluyen costos para el caso de Santiago, por que no se conoce las tecnologías de abatimiento aplicables a las fuentes emisoras.

Cuadro N°17: Flujo de costos y beneficios cuantificables para el anteproyecto de norma de calidad de plomo en aire

Lugar	Item/ año	VPN	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Beneficios	Salud	66,921	0	0	0	0	0	14,177	14,300	14,606	14,825	15,047	15,273
	Educación	37,649	0	0	0	0	0	7,976	8,096	8,217	8,340	8,466	8,593
	Productividad	18,566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salud	60,686	0	0	0	0	0	12,857	13,049	13,245	13,444	13,645	13,850
	Educación	34,142	0	0	0	0	0	7,233	7,341	7,452	7,563	7,677	7,792
	Productividad	16,827	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salud	30,263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Educación	50,641	0	0	0	0	9,451	9,592	9,736	9,882	10,031	10,181	10,334
	Productividad	27,491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salud	7,600	0	0	0	0	2,373	2,409	2,445	2,482	2,519	2,557	2,595
Ventanas	Educación	12,718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Productividad	6,904	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Santiago	Salud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Educación	5,310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Productividad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total Beneficios		375,708	0	0	0	0	11,824	54,244	55,058	55,884	56,722	57,573	58,437
Costos	Inversiones	24,578	0	0	0	0	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059
	Costos operacionales	16,537	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Inversiones	22,781	0	0	0	0	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689
	Costos operacionales	22,592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Redestino 10% concentrados	61,504	0	0	0	0	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659
	Redestino 10% concentrados	108,233	0	0	0	0	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278
	No hay	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sub-Total Costos abatim.	256,225	0	0	0	0	44,685	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240
	Costos monitoreo y gestión norma	11,611	0	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658
	operación en monitoreo calidad aire	46,310	0	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613
	inversión en diseño de planes DP	7,545	0	0	0	10,667	0	0	0	0	0	0	0
	operación monitores epidemiológicos	12,402	0	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771
	Sub-Total Costos monitoreo	77,868	0	10,042	10,042	20,709	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042
Total Costos		331,672	0	10,042	10,042	20,709	54,727	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	65,949
Beneficios Netos (Beneficios-Costos)		44,036	0	-10,042	-10,042	-20,709	-42,903	-9,038	-8,224	-7,398	-6,560	-5,709	-7,512

(Continuación)

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
15,502	15,735	15,971	16,210	16,453	16,700	16,951	17,205	17,463	17,725	17,991	18,261	18,535	18,813
8,721	8,852	8,985	9,120	9,257	9,395	9,536	9,679	9,825	9,972	10,122	10,273	10,428	10,584
0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,137	42,769	43,411	44,062	44,723
14,058	14,269	14,483	14,700	14,921	15,144	15,372	15,602	15,836	16,074	16,315	16,560	16,808	17,060
7,909	8,028	8,148	8,270	8,394	8,520	8,648	8,778	8,909	9,043	9,179	9,316	9,456	9,598
0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,211	38,784	39,366	39,957	40,556
10,489	10,646	10,806	10,968	11,132	11,299	11,469	11,641	11,815	11,993	12,173	12,355	12,541	12,729
0	0	0	0	0	0	0	0	49,927	50,676	51,436	52,207	52,990	53,785
0	0	4,823	4,896	4,969	5,044	5,119	5,196	5,274	5,353	5,434	5,515	5,598	5,682
2,634	2,674	2,714	2,754	2,796	2,838	2,880	2,923	2,967	3,012	3,057	3,103	3,149	3,197
0	0	0	0	0	0	0	0	12,538	12,726	12,917	13,111	13,307	13,507
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,550	29,993
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59,313	60,203	85,137	86,414	87,710	89,025	90,361	91,716	155,557	238,238	241,812	245,439	278,670	282,850
5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059	5,059
3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854
4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689	4,689
4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701
12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659
22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240	53,240
1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658	1,658
6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613	6,613
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771
10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042	10,042
63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282	63,282
-3,969	-3,079	21,854	23,131	24,427	25,743	27,078	28,434	92,274	174,956	178,529	182,156	215,388	219,568

6.4. Análisis final de los resultados cuantitativos y otros antecedentes a considerar para la toma de decisiones

En este capítulo final se analizan los valores obtenidos, las incertidumbres y los antecedentes cualitativos disponibles y se elaboran conclusiones.

Se debe recordar que por el tipo de metodología empleada, análisis costo-beneficio, el ejercicio consideró la construcción de dos escenarios: uno en que se aplica la norma y otro en que no se implementa esta herramienta. Ambos escenarios son hipotéticos y se han hecho con la mejor información disponible y explicitando los supuestos y datos utilizados.

Por su naturaleza hipotética existe incertidumbre asociada, la cual se hará explícita en los análisis siguientes.

Valor de norma

Por la naturaleza de la norma (de calidad), los costos ocurrirán una vez que se sobrepase el valor de latencia (80% de 0,5 ug/m³N). Por otro lado, los daños evitados (beneficios) ocurren en este informe a partir de concentraciones en la atmósfera iguales o superiores a 1,4 ug/m³N. Este valor representa concentraciones en sangre de 10 ug/dl, bajo el cual se reconoce que existen efectos pero que son complejos de cuantificar. Por lo tanto, la metodología empleada en la parte cuantitativa no es capaz de capturar diferencias significativas en el valor de norma entre 0,5 y 1,4 ug/m³N.

El efecto que se nota en el ejercicio, en caso que se aumente el valor de la norma, es una postergación de los costos de declaración de zona latente, que recaen en el Estado. Lo opuesto ocurre si se reduce el valor de la norma; en caso que la norma fuera 0,4 ug/m³N la latencia ocurre a los 0,32 ug/m³N, pudiendo involucrar a la Región Metropolitana en el corto plazo pero no en el futuro, dado las tendencias a la baja por el efecto del cambio a gasolina sin plomo del parque.

Incertidumbre en la ocurrencia de episodios de contaminación en ausencia de norma de calidad

Una de las partes de la evaluación que conlleva mayor incertidumbre es la ocurrencia de los episodios de contaminación. Se ha estimado valores de emisión y modelado la calidad resultante con relativa poca información, se ha supuesto que las emisiones de fuentes fijas emisoras crecen a tasas del 10% y que los puntos relevantes para efectos de declaración de zona latente y de identificar la población afectada es en las cercanías de las fuentes, área donde predominan condiciones de dispersión desfavorables. Este escenario, técnicamente probable, constituye el escenario sobre el cual se realiza toda la evaluación.

Contrariamente, si se relajan los parámetros, por ejemplo no haciendo crecer las emisiones de fuentes fijas a la tasa del 10%, sólo las fundiciones de Paipote y Ventanas estarían expuestas a caer dentro de los valores de latencia. A esto debe agregarse que Arica y Antofagasta corresponden a fuentes emisoras no controladas y muy dependientes del manejo, por lo cual en

condiciones favorables u optimistas no es posible descartar que en futuro se dejen de aplicar prácticas de buen manejo.

Por lo tanto, de los cinco sitios identificados como de riesgo de niveles elevados de plomo, sólo Santiago sale del ejercicio si se asume un escenario sin crecimiento de las emisiones, considerando también que la aplicación del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, fundamentalmente la parte de reducción de emisiones partículas, puede traer de manera indirecta reducciones en las emisiones de plomo.

En este sentido, una primera conclusión es que la norma se justifica dado que en ausencia de ella no es posible descartar que ocurran episodios de contaminación en Arica, Antofagasta, y cercanías de Paipote y Ventanas. De lo que no se tuvo información es cuán frecuentes serían estos episodios de contaminación (que ocurren en condiciones de mala dispersión atmosférica) en relación a los niveles que se observarían en condiciones “normales” o “medias”.

Por último, y para confirmar el supuesto de crecimiento de la emisión de fuentes fijas a tasas del 10%, se sabe que puede desarrollarse en el país una industria de ánodos de plomo para la minería del cobre así como otras industrias que emitan el contaminante, generando problemas puntuales. De este asunto no fue posible obtener más información.

Distribución temporal de los efectos y tasa de descuento

Todos los flujos se analizan con una tasa de un 12%, que corresponde a la tasa social de MIDEPLAN para proyectos de inversión social. Expertos han sugerido a CONAMA que es adecuado el uso de esta tasa para los ejercicios, además que la hace comparable con otras políticas e inversiones públicas. Esta tasa es relativamente alta (en general en otros países se emplean valores de un dígito), lo que significa que los impactos que ocurren en el futuro tienen menor importancia en comparación a una tasa más baja. Por lo tanto, si la tasa disminuyera, el valor presente neto final debiera aumentar, ya que los beneficios crecerían proporcionalmente más que los costos, al ocurrir los beneficios más en el futuro que los costos.

Estimación de beneficios

Para realizar el cálculo de beneficios se han considerado datos sobre emisiones, calidades en las áreas de impacto y efectos en salud resultantes de tales calidades. En todos estos puntos existe incertidumbre. Se ha supuesto además condiciones desfavorables (por ejemplo dispersión atmosférica adversa e inclusión de la totalidad de la población infantil de las áreas afectadas como víctima de los impactos), lo cual permite señalar que las cantidades de los daños evitados son probables pero pueden estar sobrestimados.

Por otro lado, se han valorado tres impactos como reflejo y simplificación de lo que ocurre en las poblaciones al verse expuestas a concentraciones de plomo elevadas. Esto de por sí es una subvaloración, dado que la exposición al contaminante genera diversos daños que se expresan de muchas maneras en las personas a lo largo de sus vidas. Consecuentemente, los beneficios estimados son una fracción de los verdaderos daños evitados como consecuencia de la implementación de la norma. El cálculo no considera la verdadera disposición a pagar por evitar

los daños cognitivos y de tratamiento médico que pueden ocurrir en niños como consecuencia de la exposición a niveles elevados de plomo.

Por último, se conoce que el plomo puede generar daños en adultos, en particular hipertensión, impacto que no fue considerado en el ejercicio.

Estimación de costos

Los cálculos de costos para los acopios así como de monitoreo y gestión de planes para el Estado se han realizado empleando precios y condiciones reales, por lo que sus montos debieran ser cercanos a los que efectivamente pueden ocurrir en el futuro. El valor más incierto corresponde a los costos asociados a la descontaminación de las fundiciones de Paipote y Ventanas, que más adelante se explica.

Estos costos pueden estar sobrestimados, al igual que los beneficios, por la incertidumbre asociada a la ocurrencia de episodios que se generarían en el futuro, no así por los valores empleados de costos. De todos modos, este efecto afecta tanto a los costos como a los beneficios.

Análisis por actores

Un primer elemento a analizar es la distribución de los costos y beneficios entre los distintos agentes. El cuadro N°18 refleja, a quienes se pueden imputar costos y beneficios (para todo el período de evaluación).

Cuadro N°18: Distribución de los costos y beneficios por agente

Agente	Ítems de costos y beneficios imputables	Costo (UF)	% sobre costo total	Beneficio (UF)	% sobre beneficio total
Población potencialmente afectadas	Beneficios por costos evitados por tratamientos médicos			165.470	44,0%
	Beneficios por costos evitados por reforzamiento escolar			140.460	37,4%
	Beneficios por disminución de productividad laboral evitada			69.778	18,6%
Estado	Costos por monitoreo en el aire de norma plomo	70.323	21,0%		
	Costo por elaboración de planes de prevención	7.545	2,3%		
Empresas portuarias de Arica y Antofagasta	Costo por inversión en confinamiento de acopios	47.359	14,2%		
Particulares que exportan concentrados desde Perú y Bolivia	Costo por mayor costo operacional por confinamiento de acopios	39.129	11,7%		
Particulares que procesan concentrados en ENAMI	Costo por mayor operacional por reenvío y eventual pretratamiento	169.737	50,8%		
TOTAL		334.093	100%	375.708	100%

a) Poblaciones que reducen riesgos y daños como resultado de la aplicación de la norma

Todos los beneficios recaen sobre las poblaciones que reducen o evitan costos como consecuencia de la aplicación de la norma. Este grupo está constituido por un grupo de 8.042 niños de entre 0 y 6 años que viven en los alrededores de las fuentes generadoras. Los impactos económicos los evidencian los padres y el Estado en cuanto los daños evitados por tratamiento médico ambulatorio, los padres y el Estado por refuerzo escolar evitado como consecuencia del plan y los mismos niños el impacto evitado de menor capacidad de generar ingresos como consecuencia del deterioro cognitivo.

Si el número de niños considerados para el cálculo de beneficios cae en un 11%, los beneficios se igualan a los costos.

b) Productores de concentrados de cobre y oro que entregan a ENAMI

Los particulares que procesan concentrados en las plantas de ENAMI identificadas asumen la fracción más importante de los costos de la norma. Este costo asume que las plantas afectadas no recibirán los concentrados y que los productores deberán transportarlo a otras fundiciones a su costo. Se analizó también la captación de gases fugitivos como alternativa y que tales productores salieran del negocio, escenarios que generaban costos sociales mucho más altos.

El supuesto más importante en este cálculo es que tales productores no posee alternativa de producir concentrados con menores contenidos de plomo (inferior al 2%). No se tuvo acceso a información de detalle (número de productores, tamaño, etc.) para analizar mejores opciones de solución, de manera que se considera que persiste una incertidumbre asociado a este valor y que es susceptible de mejorarse a través de información proporcionada por las propias fundiciones.

c) Acopios de Arica y Antofagasta

Los costos, en principio, recaen en las empresa administradoras de los puertos y en los transportistas de los concentrados a estos lugares. Es esperable que los costos se traspasen a los propietarios de dichos concentrados y a su vez a los que compran estos productos. El efecto de este costo incremental de transporte y embarque puede ser la pérdida de competitividad de tales productos por sus mayores costos. De todos modos no representan cifras de costo muy significativas para los volúmenes manejados. No se tuvo acceso a estudios más acabados de los posibles afectados.

d) Fuentes fijas de la región metropolitana

No se estimó costos para las 40 fuentes emisoras de plomo en la Región Metropolitana, dado que no se tuvo acceso a información precisa de dichas fuentes ni los recursos necesarios para hacer análisis en profundidad de las actividades generadoras. No obstante, los datos que se disponen permiten suponer que el plan de descontaminación vigente en la región y las normas específicas de emisión de partículas para fuentes fijas, reducen este riesgo en el largo plazo. No se vislumbran, por lo tanto, costos importantes asociados a esta norma en la Región Metropolitana en las fuentes existentes tal que puedan modificar los resultados de la evaluación realizada.

El riesgo más importante en el caso de Santiago así como en las ciudades con creciente actividad industrial, es la concentración de fuentes pequeñas emisoras que puedan generar impactos a nivel local. Este aspecto justifica también la existencia de la norma, independiente del valor, en la medida que la norma puede detectar niveles de riesgo (a través del monitoreo de aire y sangre) e implementar medidas de prevención o descontaminación.

e) Estado

Los costos de monitoreo son significativos y es responsabilidad casi completa del Estado, presumiblemente los Servicios de Salud y el Servicio de Salud del Ambiente en la Región Metropolitana. Los valores son precios reales y tienen poca incertidumbre asociada. Lo que puede ser modificado son los criterios para definir el número de monitores necesarios. Se considera, no obstante que este aspecto no debiera significar costos tales que cambien los resultados de la evaluación. Aún más, se considera susceptibles de ser reducidos.

El Estado además recibe parte de los beneficios cuantificados de la norma, dado que financia una fracción importante de los costos de salud y educación en gran parte de la población.

7. FUENTES DE INFORMACIÓN USADAS EN LA EVALUACIÓN

Fuentes bibliográficas

- CENMA, 1999. “Estudios de prevalencia para determinar el nivel de plomo en sangre de niños preescolares y escolares en la Región Metropolitana” (estudio N°9-NOR-3/98).
- Comunidad Europea, 1997. “Air quality daughter directives, Position paper on lead”.
- CONAMA, 1997. “Análisis de la política ambiental nacional en la producción, distribución y consumo de combustibles”.
- CONAMA, “Manual de evaluación económica de planes y normas” (estudio N°06-0001-008).
- CONAMA, 1999. “Análisis general del impacto económico y social de la norma de emisión de olores para la industria de la celulosa”.
- Dames & Moore, 1995. “Diagnóstico y aplicación de metodologías para determinar emisiones gaseosas industriales y calidad de aire” (VIII Región).
- Dirección Meteorológica de Chile, 1987. “Anuario meteorológico”.
- Dirección Meteorológica de Chile, 1978. “Anuario meteorológico”.
- EPA, 1985. “Costs and benefits of reducing lead in gasoline”.
- GESCAM S.A. Consultores Ambientales, 1999. “Guía técnica para el transporte y acopio de minerales de plomo”.
- GREDIS, 1999. “Preparación de antecedentes técnico-científicos para la elaboración de la norma de calidad primaria de plomo en el aire” (estudio 20127290-0).
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE Ed.), 1996. “Chile, estimaciones de población, por sexo, regiones, provincias, comunas: 1990-2005”.
- Ministerio de Minería, Unidad Ambiental. “Emisiones de plomo en fundiciones de cobre”.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, 1998. “Volúmenes de tránsito en los caminos de Chile”.
- Morgenstern, R. (ed) 1997 Economic Analysis at EPA. Assessing Regulatory Impact. Resources for the Future, Washington D.C.
- Servicio de Salud de Antofagasta, 1999. “Concentraciones de Pb en suelo Portezuelo y ruta camiones”.
- Servicio de Salud de Antofagasta, 1999. “Monitoreo ruta transporte de plomo y zinc”.
- Urrutia, Andrea, 1999. “Recopilación y sistematización de información base para la Norma de Calidad Primaria de Plomo” (realizado para CONAMA).
- Estadísticas de consumo de gasolinas con y sin plomo proporcionadas por la SEC, para el año 1997.
- Proyecciones de consumo de gasolinas con y sin plomo proporcionadas por ENAP, para los años 2000, 2005, 2010 y 2015.
- Parque de vehículos, según plantas de revisión técnica tipo “A” y “B”, 1998. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.
- ANAC, 1998. Ventas anuales de automóviles en Chile en los últimos años; catalíticos y no catalíticos.
- INE, 1990-1998. Estadísticas anuales de Parque de Vehículos en Circulación, por tipo de vehículo y localidad.

Comunicaciones personales.

- Centro de Investigación Toxicológica de la Universidad Católica de Chile (CITUC)
- Compañía Siderúrgica Huachipato Unidad de Energía y Medio Ambiente
- CONAMA Antofagasta
- CONAMA Nacional
- Dirección Provincial de Educación de Valparaíso e Isla de Pascua
- Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Unidad Ambiental
- Empresa Nacional del Petróleo (ENAP), Unidad de Medio Ambiente
- Hospital Clínico Regional de Antofagasta, Pediatría
- Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Departamento de Elaboración de Normas
- Ministerio de Minería, Unidad de Medio Ambiente
- Municipalidad de Talcahuano, Unidad de Medio Ambiente
- Servicio de Salud de Arica
- Servicio de Salud de Antofagasta
- Servicio de Salud de Concepción
- Servicio de Salud del Medio Ambiente, Región Metropolitana
- SGS Chile
- Universidad de Chile, Departamento de Minas, Facultad de Ciencias físicas y Matemáticas (Jacques Wirtz).