

#### 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/m<sup>3</sup>N 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/m<sup>3</sup>N. (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/m<sup>3</sup>N), así como cuándo se llegaría a niveles que producen intoxicaciones tratadas ambulatoriamente (3,4 ug/m<sup>3</sup>N).

Los resultados señalan que en las cercanías de las fundiciones de Paipote y Ventanas se alcanza el valor de 1,4 ug/m<sup>3</sup>N 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/m<sup>3</sup>N) 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/m<sup>3</sup>N 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/m<sup>3</sup>N) 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/m<sup>3</sup>N 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/m<sup>3</sup>N) 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: <b>5.059 UF</b> (Costo Anual Equivalente, CAE) Costo mantención: <b>907 UF/año</b> Costo operación adicional: <b>2.947 UF/año</b>	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: <b>4.689 UF</b> (CAE) Costo mantención: <b>888 UF/año</b> Costo operación adicional: <b>3.813 UF/año</b>	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: <b>12.659 UF anual</b> • 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: <b>22.278 UF/año</b> • 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 <b>20ug/dl o más</b> de plomo en sangre (3,4 ug/m <sup>3</sup> N en aire)	Costo por tratamiento más un porcentaje del salario equivalente perdido del adulto que acompaña niño: <b>10,1 UF por año</b> 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 <b>10ug/dl en sangre</b>	<b>6,4 UF/niño-año</b> <b>76,8 UF/niño-12 años</b>	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 <b>10 ug/dl en sangre</b>	Costo anual de pérdida laboral de <b>26 UF/persona-año</b> o <b>209,43 UF en 30 años</b> (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 <b>1.658 UF/año</b> (CAE) Operación de la red atribuible a la norma de plomo <b>6.613 UF/año</b>	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: <b>2.667 UF</b>	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	<b>1.771 UF anuales</b>	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 ug/m<sup>3</sup>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 ug/m<sup>3</sup>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 ug/m<sup>3</sup>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 ug/m<sup>3</sup>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 Nº17: 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
<b>Beneficios</b>													
Acopio de Arica	Salud	66,921	0	0	0	0	0	14,177	14,380	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	18,556	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acopio de Antofagasta	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
Paipote	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
Ventanas	Salud	7,600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Educación	12,718	0	0	0	0	2,373	2,409	2,445	2,482	2,519	2,557	2,595
	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
<b>Total Beneficios</b>		<b>375,708</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11,824</b>	<b>54,244</b>	<b>55,058</b>	<b>55,884</b>	<b>56,722</b>	<b>57,573</b>	<b>58,437</b>
<b>Costos</b>													
<b>Costos de abatimiento</b>													
Acopio de Arica	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	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854	3,854
Acopio de Antofagasta	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	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701	4,701
Paipote	Redestino 10% concentrados	61,504	0	0	0	0	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659	12,659
Ventanas	Redestino 10% concentrados	108,233	0	0	0	0	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278	22,278
Santiago	No hay	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sub-Total Costos abatim.</b>		<b>256,225</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>44,685</b>	<b>53,240</b>	<b>53,240</b>	<b>53,240</b>	<b>53,240</b>	<b>53,240</b>	<b>53,240</b>
<b>Costos monitoreo y gestión norma</b>													
<b>Sub-Total Costos monitoreo</b>	inversión en monitoreo calidad aire	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 D/P	7,545	0	0	0	10,667	0	0	0	0	0	0	2,667
	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
<b>Sub-Total Costos monitoreo</b>		<b>77,868</b>	<b>0</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>20,709</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>12,709</b>
<b>Total Costos</b>		<b>331,672</b>	<b>0</b>	<b>10,042</b>	<b>10,042</b>	<b>20,709</b>	<b>54,727</b>	<b>63,282</b>	<b>63,282</b>	<b>63,282</b>	<b>63,282</b>	<b>63,282</b>	<b>65,949</b>
<b>Beneficios Netos (Beneficios-Costos)</b>		<b>44,036</b>	<b>0</b>	<b>-10,042</b>	<b>-10,042</b>	<b>-20,709</b>	<b>-42,903</b>	<b>-9,038</b>	<b>-8,224</b>	<b>-7,398</b>	<b>-6,560</b>	<b>-5,709</b>	<b>-7,512</b>

00133



(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
0	0	19,207	19,495	19,788	20,084	20,386	20,691	21,002	21,317	21,637	21,961	22,291	22,625
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

001134

#### **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  $0,5 \text{ ug/m}^3\text{N}$ ). Por otro lado, los daños evitados (beneficios) ocurren en este informe a partir de concentraciones en la atmósfera iguales o superiores a  $1,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$ . Este valor representa concentraciones en sangre de  $10 \text{ ug/dl}$ , 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  $1,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$ .

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  $0,4 \text{ ug/m}^3\text{N}$  la latencia ocurre a los  $0,32 \text{ ug/m}^3\text{N}$ , 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%		
<b>TOTAL</b>		<b>334.093</b>	<b>100%</b>	<b>375.708</b>	<b>100%</b>

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).

Comisión Nacional del Medio Ambiente  
Consejo Directivo

ASR  


**APRUEBA PROYECTO DEFINITIVO DE  
NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA  
PLOMO EN AIRE**

**Santiago, 28 de abril de 2000.**

En Sesión de esta fecha, el Consejo Directivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, reunido en sesión ordinaria, ha adoptado el siguiente:

**Acuerdo N° 148/2000**

Vistos y considerando: la proposición del Director Ejecutivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente del Proyecto Definitivo de Norma de Calidad Primaria para Plomo en Aire; lo señalado en los artículos 22 y 23 del Decreto Supremo N° 93 de 1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y lo dispuesto en el artículo 72 letra k) de la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente; las Resoluciones Exentas N° 461 de 28 de abril de 1999, N° 1578 de 17 de diciembre de 1998 y N°1448 de 30 de noviembre de 1999, de la Dirección Ejecutiva de CONAMA;

**SE ACUERDA:**

- 1.- Aprobar el Proyecto Definitivo de Norma de Calidad Primaria para Plomo en Aire.
- 2.- Facultar al Director Ejecutivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente para que integre al texto de la norma, las correcciones formales y, en general las rectificaciones menores, que sean pertinentes.
- 3.- Someter a consideración del Presidente de la República el proyecto definitivo aprobado en este acuerdo.



**ALVARO GARCIA HURTADO**  
Ministro Secretario General de la Presidencia.  
Presidente  
Consejo Directivo CONAMA

  
  
**ADRIANA HOFFMANN JACOBY**  
Directora Ejecutiva  
Secretaria  
Consejo Directivo CONAMA

LVD

Distribución:

- Integrantes Consejo Directivo(13)
- Director Ejecutivo CONAMA
- Depto. Jurídico CONAMA
- Departamento de Descontaminación, Planes y Normas, CONAMA.

## **Aire ambiental - Determinación del contenido de partículas de plomo en los aerosoles acumulados en los filtros - Método por espectrofotometría de absorción atómica**

### **Preámbulo**

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

El proyecto de norma NCh2570 ha sido preparado por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización.

Este proyecto de norma es una homologación de la norma internacional ISO 9855: 1993 *Ambient air - Determination of the particulate lead content of aerosols collected on filters - Atomic absorption spectrometric method*, siendo idéntico a la misma.

Los Anexos A, B y C forman parte del cuerpo de la norma.

## **Aire ambiental - Determinación del contenido de partículas de plomo en los aerosoles acumulados en los filtros - Método por espectrofotometría de absorción atómica**

### **1 Alcance y campo de aplicación**

Esta norma especifica un método basado en la digestión ácida y la espectrofotometría por absorción atómica para el análisis químico de muestras de plomo acumuladas en los filtros del aire ambiental. El método se aplica a las muestras de aire ambiental que contienen partículas de plomo tal que la cantidad de partículas de plomo recogidas en el filtro del equipamiento de muestreo sea mayor que 1  $\mu\text{g}$  si la determinación final se efectúa mediante espectrofotometría de absorción atómica por llama. La determinación final mediante espectrofotometría de absorción atómica en un horno de grafito permite la medición de cantidades menores que 1  $\mu\text{g}$ , pero se aplica solamente después de la validación experimental de los límites de detección.

### **2 Referencias normativas**

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones que, a través de referencias en el texto de la norma, constituyen requisitos de la norma.

A la fecha de publicación de esta norma estaba vigente la edición que se indica a continuación.

Todas las normas están sujetas a revisión y a las partes que deban tomar acuerdos, basados en esta norma, se les recomienda investigar la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las normas que se incluyen a continuación.

## NCh2570

El Instituto Nacional de Normalización mantiene un registro de las normas nacionales e internacionales vigentes.

ISO 648: 1977 *)	<i>Laboratory glassware - One-mark pipettes.</i>
ISO 1042: 1983 *)	<i>Laboratory glassware - One-mark volumetric flasks.</i>
ISO 4793: 1980 *)	<i>Laboratory sintered (fritted) filters - Porosity grading, classification and designation.</i>
ISO 6879: 1983 *)	<i>Air quality - Performance characteristics and related concepts for air quality measuring methods.</i>
ISO 6955: 1982 *)	<i>Analytical spectroscopic methods - Flame emission, atomic absorption, and atomic fluorescence - Vocabulary.</i>

### 3 Principio

Las partículas de material acumuladas en un filtro se digieren con ácido. El plomo presente se solubiliza y la solución de muestra se analiza por espectrofotometría de absorción atómica.

### 4 Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos de pureza analítica reconocida y sólo agua destilada o agua de pureza equivalente (como en 4.1). Es esencial que el contenido de plomo de los reactivos sea constante para que pueda obtenerse un valor del blanco que sea reproducible.

**4.1 Agua destilada o deionizada**, con un contenido de plomo menor que 0,01 µg/ml y una conductividad eléctrica menor que 0,2 mS/m (2 µS/cm), o una resistividad eléctrica mayor que 5 kΩ × m.

**4.2 Acido nítrico (HNO<sub>3</sub>)**, concentrado,  $\rho_{20} = 1,42$  g/ml, redestilado con un contenido de plomo menor que 0,01 µg/ml.

**4.3 Acido nítrico**, diluido, aproximadamente 0,1 mol/L.

Agregar 10 ml de ácido nítrico concentrado (ver 4.2) a 500 ml de agua (ver 4.1) y diluir con agua hasta completar 1 L (ver 4.1).

---

\*) Mientras no exista la norma chilena correspondiente, se usará esta norma.

#### 4.4 Solución estándar de plomo, correspondiente a 1 000 µg de Pb por mililitro.

Usar solución estándar de uso comercial de 1 000 µg/ml, o preparar una solución estándar de plomo de la manera siguiente:

Disolver 1,598 g ± 0,001 g de nitrato de plomo [Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] - previamente secado a 110°C hasta que la masa permanezca constante y luego enfriado en un desecador - en ácido nítrico diluido (ver 4.3). Transferir cuantitativamente la solución a un matraz aforado de 1 000 ml (ver 5.12) y llenar el matraz hasta la marca con ácido nítrico diluido (ver 4.3).

## 5 Aparatos

### 5.1 Material de vidrio, borosilicato

NOTA - De preferencia reservar un conjunto de material de vidrio para la determinación de plomo por este método, para evitar posibles problemas por remoción incompleta de los contaminantes.

5.1.1 Pipetas aforadas, de acuerdo con ISO 648.

5.1.2 Matraces aforados, con capacidad de 10 ml a 1 000 ml, de acuerdo con ISO 1042.

5.2 Espectrofotómetro de absorción atómica, encendido y operación de acuerdo con las instrucciones del fabricante y equipado con: un mechero con llama de aire/acetileno y/o un horno de grafito con auto-inyección, una lámpara para el plomo, de cátodo hueco o una lámpara de descarga sin electrodo, y capacidad para corrección de atenuación no específica (ver ISO 6955) usando una lámpara de deuterio o un sistema Zeeman o Smith-Hieftje de señal de fondo.

### 5.3 Equipamiento de muestreo

Los filtros para análisis deben ser una membrana o un de tipo fibra de vidrio. Los filtros no expuestos deben tener un contenido de plomo máximo considerablemente menor que la cantidad mínima que se puede determinar por el procedimiento de absorción atómica.

### 5.4 Material usual de laboratorio

## 6 Muestreo

El tiempo de muestreo debe ser lo necesario para que la cantidad de plomo acumulada sea lo suficientemente grande para un análisis cuantitativo.



NCh2570

## 7 Procedimiento

### 7.1 Lavado del material de vidrio

7.1.1 Antes de usar, sumergir todo el material de vidrio en una solución ligera de detergente, durante 24 h, para remover residuos grasos o químicos.

7.1.2 Después del lavado inicial (ver 7.1.1), lavar todo el material de vidrio excepto las pipetas (ver 5.1.1) y los matraces (ver 5.1.2), con ácido nítrico concentrado y caliente (ver 4.2) y luego enjuagar completamente con agua (ver 4.1).

7.1.3 Después del lavado inicial (ver 7.1.1), lavar las pipetas (ver 5.1.1) y los matraces (ver 5.1.2) sumergiéndolos en ácido nítrico diluido (ver 4.3) por varios días, y finalmente, lavar con agua (ver 4.1).

Lavar el material de vidrio que se sometió al proceso completo de lavado, y que se guardó para el análisis de plomo por este método, enjuagándolo completamente con ácido nítrico diluido (ver 4.3) y luego con agua (ver 4.1).

### 7.2 Calibración

#### 7.2.1 Preparación de soluciones de calibración

Preparar una solución blanco de calibración y, al menos, cinco soluciones de calibración para cubrir el rango esperado de concentración de las soluciones de ensayo/muestra, dentro del rango lineal de operación del espectrofotómetro de absorción atómica (ver 5.2), por dilución de la solución estándar de plomo (ver 4.4).

Estas soluciones de calibración se deben preparar de modo que contengan concentraciones de ácido equivalentes a las soluciones de muestra obtenidas usando el método de digestión escogido (ver 7.3.2).

#### 7.2.2 Mediciones por espectrofotometría

Encender el espectrofotómetro de absorción atómica (ver 5.2) de acuerdo con las instrucciones del fabricante, y optimizar el ajuste de los parámetros incluyendo la corriente de la lámpara y el ancho de la abertura del monocromador. Para la espectrofotometría de absorción atómica por llama optimizar la altura del quemador, la razón de flujo del combustible y del oxidante y la razón de flujo del nebulizador. Optimizar el programa de temperatura para el horno de grafito de la espectrofotometría de absorción atómica, para evitar pérdida de plomo, especialmente durante la fase de combustión del programa de temperatura. No usar el horno de grafito de la espectrofotometría de absorción atómica sin auto-inyección. En todos los casos, se debe utilizar la corrección para la atenuación no específica.

### 7.2.3 Curva de calibración

Preparar la curva de calibración trazando los puntos de la absorbancia de cada solución de calibración con respecto a la absorbancia de la solución blanco de calibración, versus la concentración de plomo de las soluciones de calibración en microgramos por mililitro (o, si se usa el horno de grafito de la espectrofotometría de absorción atómica, en microgramos por litro).

## 7.3 Determinación

### 7.3.1 Filtro blanco

Analizar al menos un filtro no expuesto con cada grupo de filtros de ensayo expuestos.

### 7.3.2 Digestión ácida de los filtros

Efectuar la digestión del filtro de muestra y de los filtros blanco usando uno de los métodos especificados en Anexos de A a C. El método especificado en Anexo A (digestión con ácido nítrico y ácido clorhídrico) es el método de referencia. Usar el método especificado en Anexo B (digestión con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno) o el método especificado en Anexo C (digestión con ácido nítrico bajo presión) solamente después de demostrar que estos métodos logran una recuperación analítica completa.

NOTA - Esta demostración se debería basar en la medición de las recuperaciones obtenidas usando el método especificado en Anexos B o C en muestras equivalentes a aquellas que se están analizando y, luego, comparar los resultados con los obtenidos usando el método de referencia especificado en Anexo A. El método de referencia se debería usar siempre que se detecte una recuperación incompleta por las mediciones, o haya una evidencia visual de residuos no disueltos.

### 7.3.3 Medición espectrofotométrica

Determinar la concentración de plomo en las soluciones de muestra (ver 7.3.2) usando la llama o el horno de grafito de espectrofotometría de absorción atómica, midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 217,0 nm o 283,3 nm, con corrección de la atenuación no específica.

La concentración de la muestra está relacionada con la absorbancia y se puede determinar mediante la curva de calibración (ver 7.2.3). Usar sólo la parte lineal de la curva de calibración y diluir las soluciones de ensayo que salen fuera de esta parte de la curva, con un volumen apropiado de ácido nítrico (ver 4.3). Registrar el factor de dilución utilizado. Para el procedimiento del horno de grafito, utilizar el mismo volumen final de la muestra para el análisis y la calibración.

NCh2570

### 7.3.4 Soluciones blanco

Analizar todas las soluciones blanco (ver 7.3.1) y restar la concentración media de plomo de las soluciones blanco, de la concentración de las soluciones de muestra.

En el caso de las soluciones diluidas para que se ajusten al rango lineal de operación del espectrofotómetro de absorción atómica, se debe hacer una dilución equivalente a las soluciones blanco, y la concentración media de plomo de estas soluciones blanco diluidas se debe restar del contenido de plomo de las soluciones de muestra diluidas. Utilizar métodos estadísticos estandarizados (ver ISO 6879) para determinar el límite de detección, basado en la desviación estándar de la concentración de plomo en un mínimo de seis soluciones obtenidas por digestión de los filtros blanco.

## 8 Expresión de los resultados

Expresar la concentración de la masa de plomo  $\rho_{Pb}$ , en microgramos por metro cúbico, en la muestra de aire redondeando al más cercano  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , utilizando la ecuación:

$$\rho_{Pb} = \frac{(\rho_{Pb,1} - \rho_{Pb,2}) V_1 * F}{V_{corr}}$$

en que:

- $\rho_{Pb,1}$  = concentración de plomo, en microgramos por mililitro, en la solución de muestra;
- $\rho_{Pb,2}$  = concentración media de plomo, en microgramos por mililitro, en las soluciones obtenidas por digestión de los filtros no expuestos;
- $V_1$  = volumen, en mililitros, en el cual se diluye la muestra de ceniza (por ejemplo 10 ml);
- $F$  = factor de dilución aplicado (si es aplicable);
- $V_{corr}$  = volumen corregido, en metros cúbicos, de la muestra de aire.

## 9 Eficiencia de los métodos

La aplicación de esta norma a la membrana blanco y a los filtros de fibra de vidrio ha demostrado que el límite de detección de  $0,1\mu\text{g}$  no se puede lograr utilizando cualquiera de los tres métodos de digestión especificados. Cuando se aplicó el método de digestión especificado en Anexo A (el método de referencia) a los filtros cónicos con un material particulado urbano de referencia, la recuperación de plomo relativa al valor certificado fue  $99,2\% \pm 4,3\%$  para los filtros cónicos de membrana y  $101,0\% \pm 6,0\%$  para los filtros cónicos de fibra de vidrio.

## 10 Interferencias

El método puede no ser apropiado para muestras que contengan una cantidad elevada de un elemento que produzca interferencia con el plomo. La naturaleza y extensión de las interferencias depende de si se utiliza llama o un horno de grafito de absorción espectrofotométrica. La única y mayor interferencia espectral que puede ocurrir se debe al antimonio cuando se utiliza la longitud de onda de  $217,0\text{ nm}$ . Cuando hay presente altas concentraciones de sodio en las soluciones muestra, es esencial efectuar una corrección de la absorbancia de fondo no específica.

## 11 Informe del ensayo

El informe del ensayo debe contener a lo menos la información siguiente:

- a) todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra de aire, incluyendo detalles del tipo de equipamiento de muestreo utilizado;
- b) referencia a esta norma;
- c) método de digestión utilizado;
- d) concentración de plomo encontrada, en microgramos por metro cúbico, y las variables analíticas utilizadas: es decir, el volumen final extraído, los factores de dilución/concentración, lecturas en microgramos por mililitro y los valores de los blancos;
- e) tipo de espectrofotómetro de absorción atómica utilizado;
- f) detalles de operación no especificados en esta norma, así como cualquier circunstancia que pudiese influir en el resultado del ensayo.

NCh2570

**Anexo A**  
(Normativo)**Digestión del filtro por reflujo con ácido nítrico y ácido clorhídrico****A.1 Principio**

El material particulado acumulado en un filtro se digiere por reflujo con ácido nítrico y ácido clorhídrico.

**A.2 Reactivos**

Utilizar solamente reactivos de reconocida pureza analítica y sólo agua destilada o agua de pureza equivalente. Ver cláusula 4.

**A.2.1 Acido nítrico, concentrado.**

Ver 4.2.

**A.2.2 Acido clorhídrico (HCl), concentrado,  $\rho_{20} = 1,18$  g/ml, con contenido de plomo menor que 0,01  $\mu\text{g/ml}$ .**

**A.2.3 Digestión ácida**

Mezclar un volumen de ácido nítrico concentrado (ver A.2.1) con dos volúmenes de ácido clorhídrico concentrado (ver A.2.2).

**A.3 Aparatos****A.3.1 Material de vidrio, borosilicato**

(Ver 7.1 para instrucciones de lavado).

**A.3.1.1 Erlenmeyers, de 100 ml de capacidad con cuello de vidrio esmerilado.**

**A.3.1.2 Condensadores de reflujo, con uniones de vidrio esmerilado para ajustarlos a los erlenmeyers.**

**A.3.1.3 Probetas, de 100 ml de capacidad.**

**A.3.1.4 Matraces aforados**, de 50 ml de capacidad, de acuerdo con ISO 1042.

**A.3.2 Plancha caliente**, controlada termostáticamente.

#### **A.4 Procedimiento de digestión para filtros de membrana**

Colocar el filtro en un erlenmeyer (ver A.3.1.1), agregar 10 ml de ácido para la digestión (ver A.2.3) y conectarlo al condensador de reflujo (ver A.3.1.2). Colocar el erlenmeyer en la plancha caliente (ver A.3.2), elevar la temperatura a  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y continuar calentando el erlenmeyer durante 2 h. Dejar enfriar el aparato. Lavar el interior del condensador de reflujo hacia adentro del erlenmeyer varias veces, con pequeños volúmenes de agua. Luego transferir lo digerido a un matraz aforado de 50 ml (ver A.3.1.4) y completar el volumen con agua destilada.

#### **A.5 Procedimiento de digestión para los filtros de fibra de vidrio**

Seguir el procedimiento de digestión para los filtros de membrana (ver A.4), hasta que lo digerido esté listo para transferirse al matraz aforado. Luego filtrar, lavando con pequeños volúmenes de agua, a un matraz aforado de 50 ml (ver A.3.1.4).



NCh2570

**Anexo B**  
(Normativo)

**Digestión de los filtros con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno**

**B.1 Principio**

El material particulado acumulado en un filtro se digiere con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno.

**B.2 Reactivos**

Usar solamente reactivos de reconocida pureza analítica y sólo agua destilada o agua de pureza equivalente. Ver cláusula 4.

**B.2.1 Ácido nítrico, concentrado.**

Ver 4.2.

**B.2.2 Ácido nítrico, diluido.**

Ver 4.3.

**B.2.3 Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ),** de aproximadamente 300 g/L (100 volúmenes), con contenido de plomo menor que 0,01 µg/ml.

**B.3 Aparatos****B.3.1 Material de vidrio, borosilicato**

Ver 7.1 para instrucciones de lavado).

**B.3.1.1 Vasos de precipitado,** de 50 ml de capacidad.

**B.3.1.2 Vidrios de reloj,** para colocarlos en los vasos de precipitado (ver B.3.1.1).

**B.3.1.3 Probeta,** de 100 ml de capacidad.

**B.3.1.4 Pipetas aforadas,** de acuerdo con ISO 648.

**B.3.1.5 Matraces aforados,** de 10 ml y 25 ml de capacidad, de acuerdo con ISO 1042.

**B.3.2 Plancha caliente,** controlada termostáticamente.

#### **B.4 Procedimiento de digestión para filtros de membrana**

Agregar 3 ml de ácido nítrico concentrado (ver B.2.1) y 1 ml de peróxido de hidrógeno (ver B.2.3) al filtro en un vaso de precipitado de 50 ml (ver B.3.1.1). Cubrirlo con un vidrio de reloj (ver B.3.1.2) y llevarlo a la plancha caliente (ver B.3.2) a  $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta que la mayor parte del ácido se haya evaporado. Repetir la operación agregando nuevamente ácido y peróxido de hidrógeno y evaporar, al menos dos veces. Luego continuar calentando hasta que el residuo esté casi seco y aparezca una ceniza blanca. No resecar el residuo. Si el residuo se enciende desechar la muestra, pues el plomo se ha perdido. Lavar el vidrio de reloj y las paredes del vaso de precipitado con un pequeño volumen de ácido nítrico diluido (ver B.2.2). Reemplazar el vidrio de reloj y evaporar hasta que el residuo esté casi seco. Enfriar y agregar 1 ml de ácido nítrico concentrado (ver B.2.1) para disolver el residuo. Transferir, lavando con ácido nítrico diluido (ver B.2.2) a un matraz aforado de 10 ml (ver B.3.1.5) y llenar hasta la marca con ácido nítrico diluido.

#### **B.5 Procedimiento de digestión para filtros de fibra de vidrio**

Seguir el procedimiento para filtros de membrana (ver B.4) hasta la evaporación completa del ácido. Disolver el residuo en 2,5 ml de ácido nítrico concentrado (ver B.2.1). Filtrar lo digerido, lavando repetidamente con pequeños volúmenes de ácido nítrico diluido (ver B.2.2), a un matraz aforado de 25 ml (ver B.3.1.5) y luego llenar hasta la marca con ácido nítrico diluido.

NCh2570

**Anexo C**  
(Normativo)**Digestión del filtro con ácido nítrico, bajo presión****C.1 Principio**

El material particulado acumulado en un filtro se digiere con ácido nítrico, usando un recipiente para digestión a presión recubierto con politetrafluoroetileno (PTFE).

**C.2 Reactivos**

Usar solamente reactivos de reconocida pureza analítica y sólo agua destilada o agua de pureza equivalente. Ver cláusula 4.

**C.2.1 Acido nítrico, concentrado.**

Ver 4.2.

**C.2.2 Acido nítrico, diluido.**

Ver 4.3.

**C.3 Aparatos****C.3.1 Material de vidrio, borosilicato**

(Ver 7.1 para instrucciones de lavado).

**C.3.1.1 Pipetas aforadas, de acuerdo con ISO 648.****C.3.1.2 Matraces aforados, de 10 ml y 25 ml de capacidad, de acuerdo con ISO 1042.**

**C.3.2 Recipiente para digestión a presión**, que consiste en un recipiente externo de acero inoxidable con tapa que contiene un recipiente interno de PTFE con tapa. El volumen del recipiente interno debe ser, a lo menos, de 20 ml. El recipiente debe ser capaz de resistir a una temperatura de, por lo menos, 190°C y presiones mayores que 20 MPa. El recipiente debe poseer una válvula de seguridad para aliviar un exceso de presión.

**C.3.3 Estufa o cámara calentadora**, controlada termostáticamente, capaz de operar a 180°C ± 2°C y provista con un interruptor de seguridad que accione a la temperatura de 190°C.

001155

NCh2570

#### **C.4 Procedimiento de digestión para filtros de membrana**

Agregar 1 ml de ácido nítrico concentrado (ver C.2.1) al filtro en el recipiente interno de PTFE de digestión a presión (ver C.3.2). Cerrar el recipiente interno con su tapa de PTFE y colocarlo dentro del recipiente externo de acero inoxidable. Cerrar el recipiente externo con su tapa aplicando el torque prescrito. Colocar el conjunto completo en la estufa o cámara calentadora (ver C.3.3). Calentar a 180°C por 12 h y luego dejar enfriar completamente el recipiente con la estufa o cámara calentadora, hasta temperatura ambiente.

Abrir el recipiente frío y retirar el recipiente interno de PTFE. Transferir el líquido digerido, cuantitativamente, usando una pipeta (ver C.3.1.1), junto con pequeños volúmenes de ácido nítrico diluido (ver C.2.2), a un matraz aforado de 10 ml (ver C.3.1.2), y llenar hasta la marca con ácido nítrico diluido.