





Capítulo 1

Contaminación del Aire

1] Antecedentes	49
2] Diagnóstico: Calidad del aire	52
3] Causas: Emisiones contaminantes	60
4] Acciones: Control de la contaminación atmosférica	67

Calidad del Aire

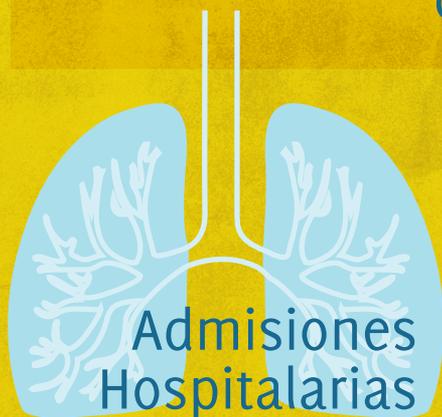
MP2,5

Máximo permisible de MP2,5:
20 µg/m³ anual promedio



Instrumentos de Gestión

- Planes de Descontaminación y Prevención
- Normas de emisión
- Información al consumidor
- Acuerdos voluntarios



Admisiones Hospitalarias

- Ataques al corazón
 - Disritmia
- Enfermedad isquémica al corazón
- Bronquitis crónica
 - Neumonía
- Ataques de asma



En Chile al menos
10 millones
de personas
están expuestas a una concentración
promedio anual de MP2,5 superior a
20 microgramos por metro cúbico.

Introducción

Resumen / Abstract

La calidad del aire constituye uno de los temas ambientales que más directamente afectan a la población. Pese a los esfuerzos y a los distintos instrumentos utilizados, el país aún no cumple con los estándares establecidos en las normas de calidad primaria y secundaria vigentes. En este contexto y dada la complejidad del problema, en 2010, el Ministerio del Medio Ambiente inició la elaboración e implementación del Programa Aire Limpio, mediante el cual se busca mejorar la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país, incorporando así un enfoque nacional a la gestión en esta materia.

Antecedentes 1

Múltiples estudios nacionales e internacionales han mostrado que existe una asociación entre el nivel de concentración de contaminantes como material particulado (MP), ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) y la incidencia de muertes prematuras y varias enfermedades cardiorrespiratorias, tanto en niños como en adultos. Además, existe evidencia de efectos ambientales, tales como disminución de visibilidad, daños a los materiales e impactos en la flora y fauna (cuadro 1).

El material particulado (MP) es el contaminante que más significativamente ha sido asociado a eventos de mortalidad y morbilidad en la población (Pope y Dockery, 2006). Este contaminante se clasifica según su diámetro, característica de la cual depende la intensidad de sus impactos. Existen dos métricas comúnmente utilizadas para clasificar el material particulado, partículas menores a 10 micrones conocidas como MP_{10} y partículas menores a 2,5 micrones, conocidas como $MP_{2,5}$. De esta forma, en el MP_{10} se pueden distinguir dos fracciones, la fracción gruesa, es decir, entre 2,5 y 10 micrones y la fracción fina, menor a 2,5 micrones.

Cuadro 1 Impactos generados por MP, O₃, SO₂ y NO₂

EFEECTO	DESCRIPCIÓN
Daño a la salud	Las partículas y compuestos emitidos al aire en ciertas concentraciones pueden producir efectos nocivos en la salud de las personas como, por ejemplo, reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros.
Disminución en visibilidad	La presencia de partículas en el aire reduce la visibilidad causando una disminución en el bienestar y la calidad de vida.
Daño a materiales	El exceso de contaminación atmosférica puede causar daños en los materiales de construcción, alterando las propiedades físicas y químicas de los mismos.
Daño a ecosistemas acuáticos	Altas concentraciones de NO ₂ y SO ₂ pueden producir deposición ácida en el agua, modificando su composición y dificultando la supervivencia de especies acuáticas.
Daño en plantas y bosques	La deposición ácida en suelos puede alterar el crecimiento de plantas y árboles. Además el ozono y otras partículas pueden ingresar a través de los estomas de las plantas y dañar su estructura.

Fuente: MMA (2011a).

Cabe señalar que la fracción fina, MP_{2,5}, está compuesta por partículas suficientemente pequeñas que penetran en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y los alvéolos, lo que aumenta el riesgo de mortalidad prematura por efectos cardiopulmonares, en exposiciones de corto y largo plazo (CONAMA, 2010).

En cuanto a la fracción gruesa, MP₁₀, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), si bien existe una aparente relación entre la exposición de corto plazo y los efectos respiratorios y cardiovasculares, no existe evidencia suficiente para constatar potenciales efectos por exposición de largo plazo (EPA, 2009).

En el MP_{10} se pueden distinguir dos fracciones, la fracción gruesa, es decir, entre 2,5 y 10 micrones y la fracción fina, menor a 2,5 micrones. El material particulado fino ($MP_{2,5}$) es el contaminante más agresivo para la salud de las personas.

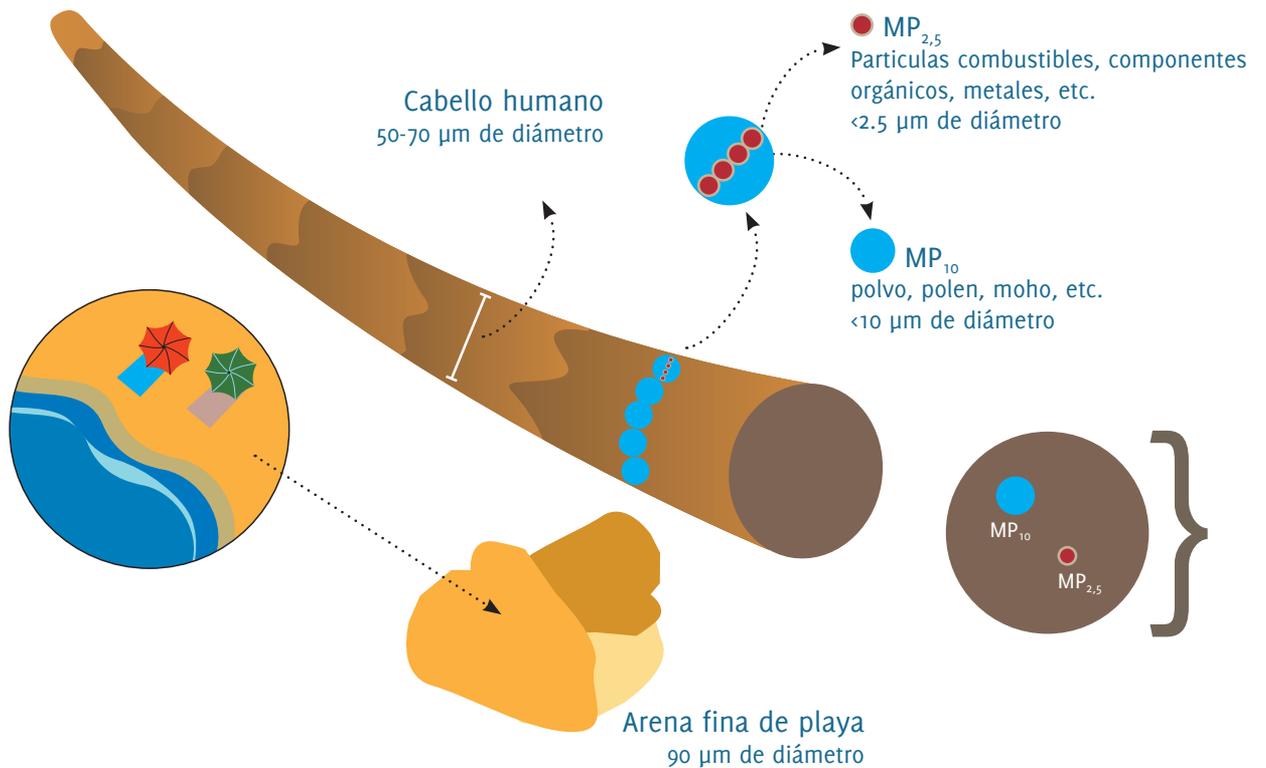


fig. 1

Diferencias entre $MP_{2,5}$ y MP_{10}

Fuente: Elaboración en base a imagen de sitio web de la EPA.

Diagnóstico:

2 Calidad del aire

1] Decreto 144 del Ministerio de Salud de 1961 y Resolución 1215 del Ministerio de Salud de 1978.

2] “Aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”. Artículo 2°, letra n, ley 19.300.

En Chile, si bien la preocupación por la contaminación del aire tiene antecedentes que se remontan a inicios del siglo XX, las primeras normas de emisión y calidad se dictan en 1961 y 1978, respectivamente¹. Posterior a eso, se han realizado nuevos estudios y procesos de revisión normativa que han dado como resultado que hoy Chile cuente con normas primarias de calidad ambiental² de alcance nacional, que regulan la concentración en el aire de seis tipos de contaminantes, identificados como los principales y más nocivos para la salud. Dichas normas, regulan concentraciones máximas respecto a material particulado, tanto MP₁₀, como MP_{2,5}, así como respecto a dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono troposférico (O₃), monóxido de carbono (CO) y Plomo (Pb). La siguiente tabla presenta una descripción de algunas normas primarias de calidad del aire vigentes en µg/m³.

Cuadro 2 Normas primarias de calidad vigentes

CONTAMINANTE	NIVEL	MÉTRICA	EXCEDENCIA
O ₃	120	Promedio móvil de 8 horas	Percentil 99
MP ₁₀	50	Media aritmética trianual	No se permite
	150	Media aritmética diaria	Percentil 98
MP _{2,5}	20	Media aritmética anual	No se permite
	50	Media aritmética diaria	Percentil 98
SO ₂	80	Media aritmética anual	No se permite
	250	Media aritmética diaria	Percentil 99
NO ₂	100	Media aritmética anual	No se permite
	400	Media aritmética horaria	Percentil 99

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar el estado de la calidad del aire, en relación con los estándares establecidos en las normas primarias de calidad ambiental, se analizan los registros de las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP)³. En el país, además, existen estaciones de monitoreo privadas, la mayor parte de las cuales han sido instaladas en el marco de las exigencias establecidas en resoluciones de calificación ambiental, como mecanismo de seguimiento de los impactos de los proyectos o de planes de descontaminación, como es el caso de las redes de seguimiento de las fundiciones de cobre.

La mayor parte del monitoreo de calidad del aire que se realiza a lo largo de Chile se ha orientado preferentemente al material particulado MP_{10} , sin embargo, con la entrada en vigencia de la norma de $MP_{2,5}$ se espera aumentar la cobertura de monitoreo de este contaminante en los próximos años, lo cual permitirá contar con un mejor indicador del estado de la calidad del aire.

Pese a que aún no existen mediciones para material particulado fino en todo el país, las mediciones de MP_{10} permiten hacer estimaciones respecto a la concentración de su fracción más fina. De esta manera, a fin de tener una visión panorámica de la situación nacional, se ha estimado la concentración anual de $MP_{2,5}$ para comunas sin información⁴.

De acuerdo con estas estimaciones, es posible apreciar que las ciudades que se localizan en la zona centro y sur de nuestro país, registran altos niveles de concentración de este contaminante, superando los 20 microgramos por metro cúbico establecidos como límite máximo en la normativa vigente anual. Por su parte, las ciudades de la zona norte no registrarían niveles tan elevados de $MP_{2,5}$ a nivel anual, debido a que las principales fuentes de emisión de material particulado, en dicha zona, corresponden a procesos de la industria minera, la cual registra un mayor aporte de material particulado grueso (Kavouras, Koutrakis et al., 2001). No obstante lo anterior, algunas ciudades con más presencia de actividades como generación termoeléctrica o fundiciones de cobre, presentan niveles más elevados en comparación a otras ciudades del norte que no cuentan con este tipo de iniciativas.

De acuerdo con estos antecedentes, es posible estimar que en Chile al menos 10 millones de personas⁵ están expuestas a una concentración promedio anual de $MP_{2,5}$ superior a 20 microgramos por metro cúbico. Asimismo, y siguiendo la metodología propuesta por MMA (2011a), se estima que más de 4.000 personas mueren prematuramente al año por enfermedades cardiopulmonares asociadas a la exposición crónica a $MP_{2,5}$. Esta cifra representa más del doble del número de fatalidades por accidentes de tránsito (CONASET, 2010).

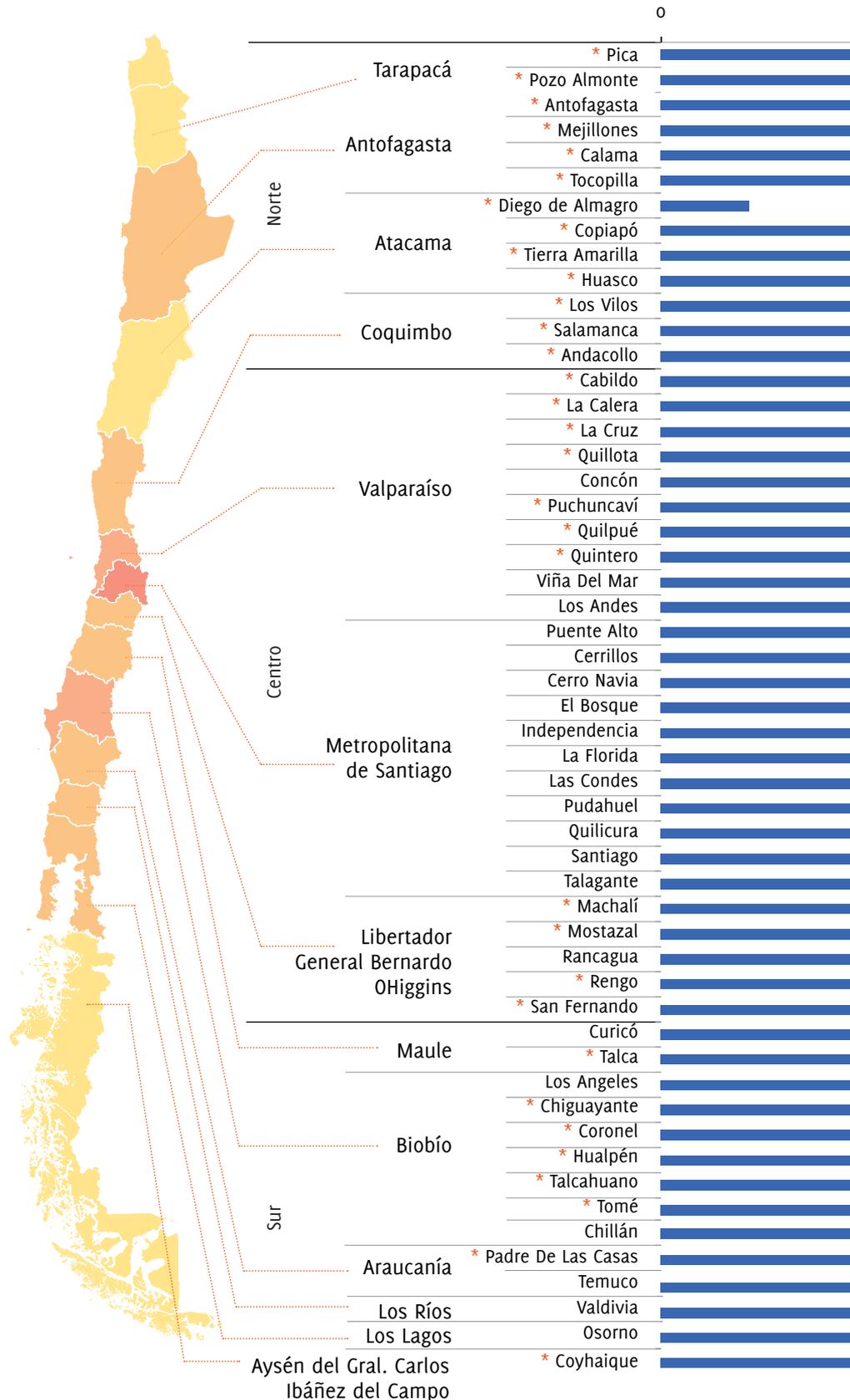
3] Las condiciones que deben cumplir están establecidas en Dto 59/1998, Dto 112/2002, Dto 113/2002, Dto 114/2002 y Dto 115/2002, todos de MINSEGPRES.

4] En base a la metodología propuesta por DICTUC (2009), que considera la compensación del material particulado y los tipos de fuentes emisoras en distintas zonas del país, se asume que en promedio el 14% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$ en la zona norte, 50% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$ en la zona centro y 70% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$ en la zona sur del país. En grandes áreas urbanas como la ciudad de Concepción se asume que un 50% del MP_{10} corresponde a $MP_{2,5}$.

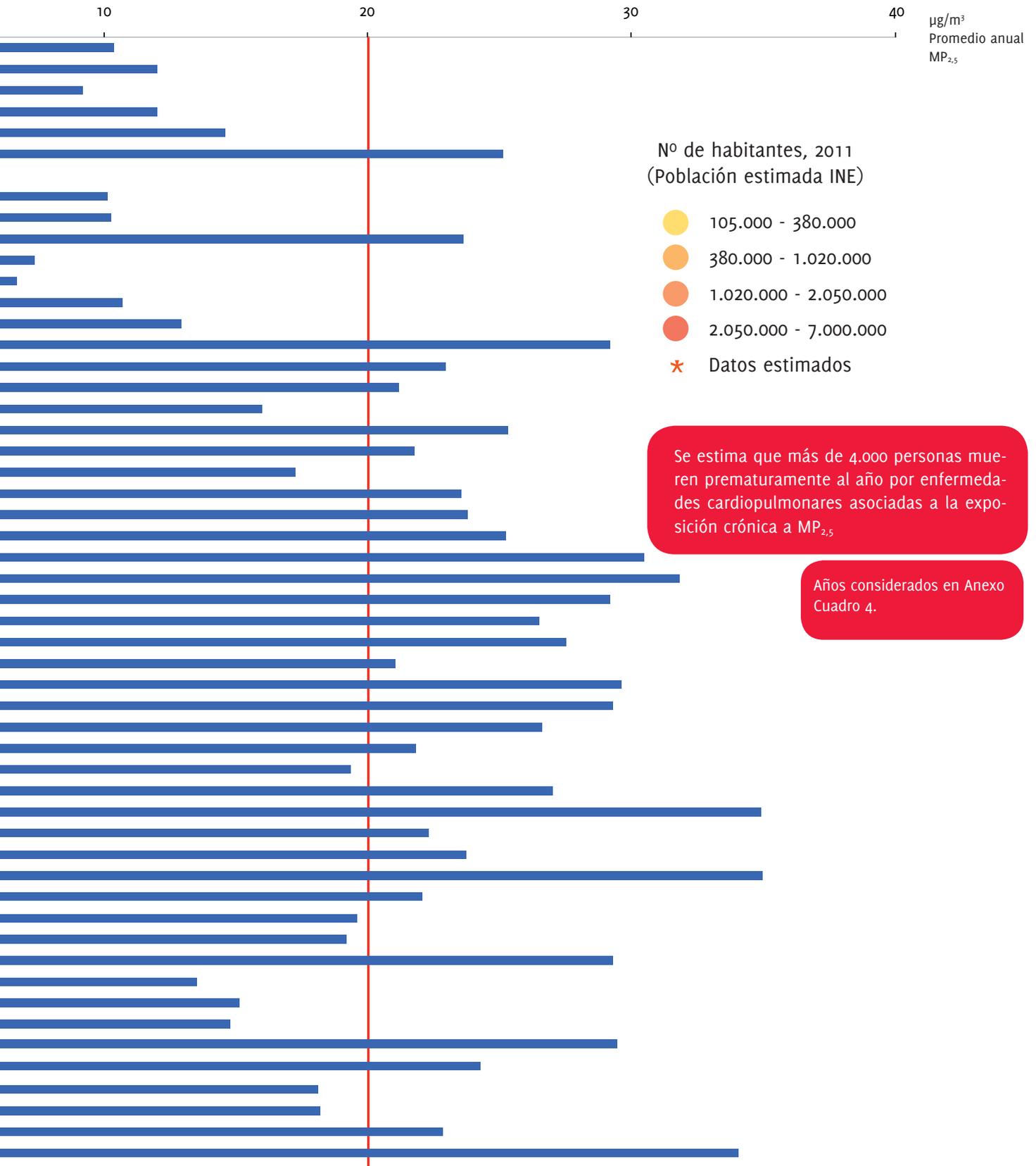
5] La concentración de $MP_{2,5}$ medida en algunas comunas de la provincia de Santiago representa, en promedio, la concentración a la que está expuesta la población de la provincia en su totalidad.

Concentración anual MP_{2,5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] a nivel nacional

fig. 2



“Los mapas publicados en este informe que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2º, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”



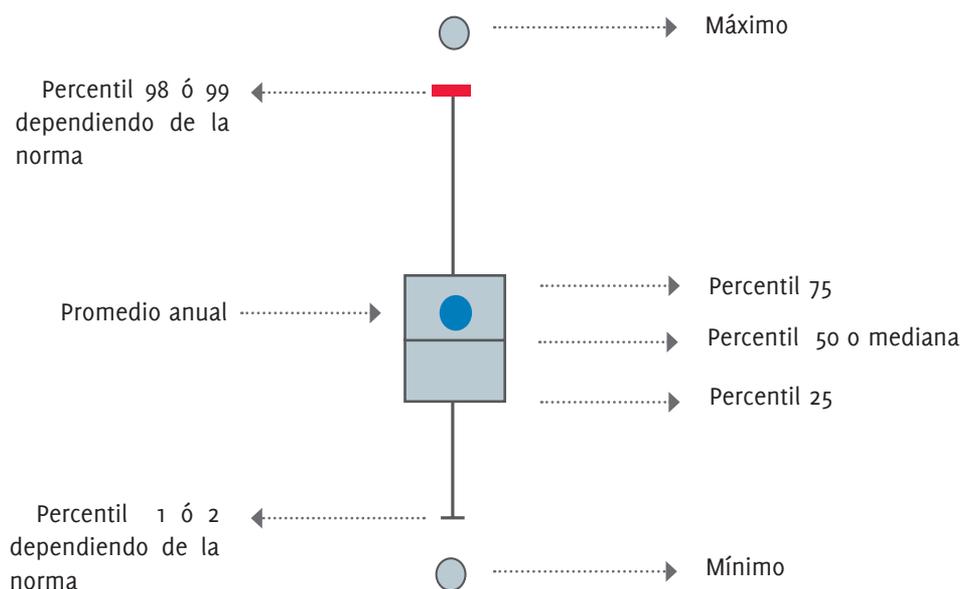
Cuadro 3 Mortalidad y morbilidad asociada a la exposición a $MP_{2,5}$ *

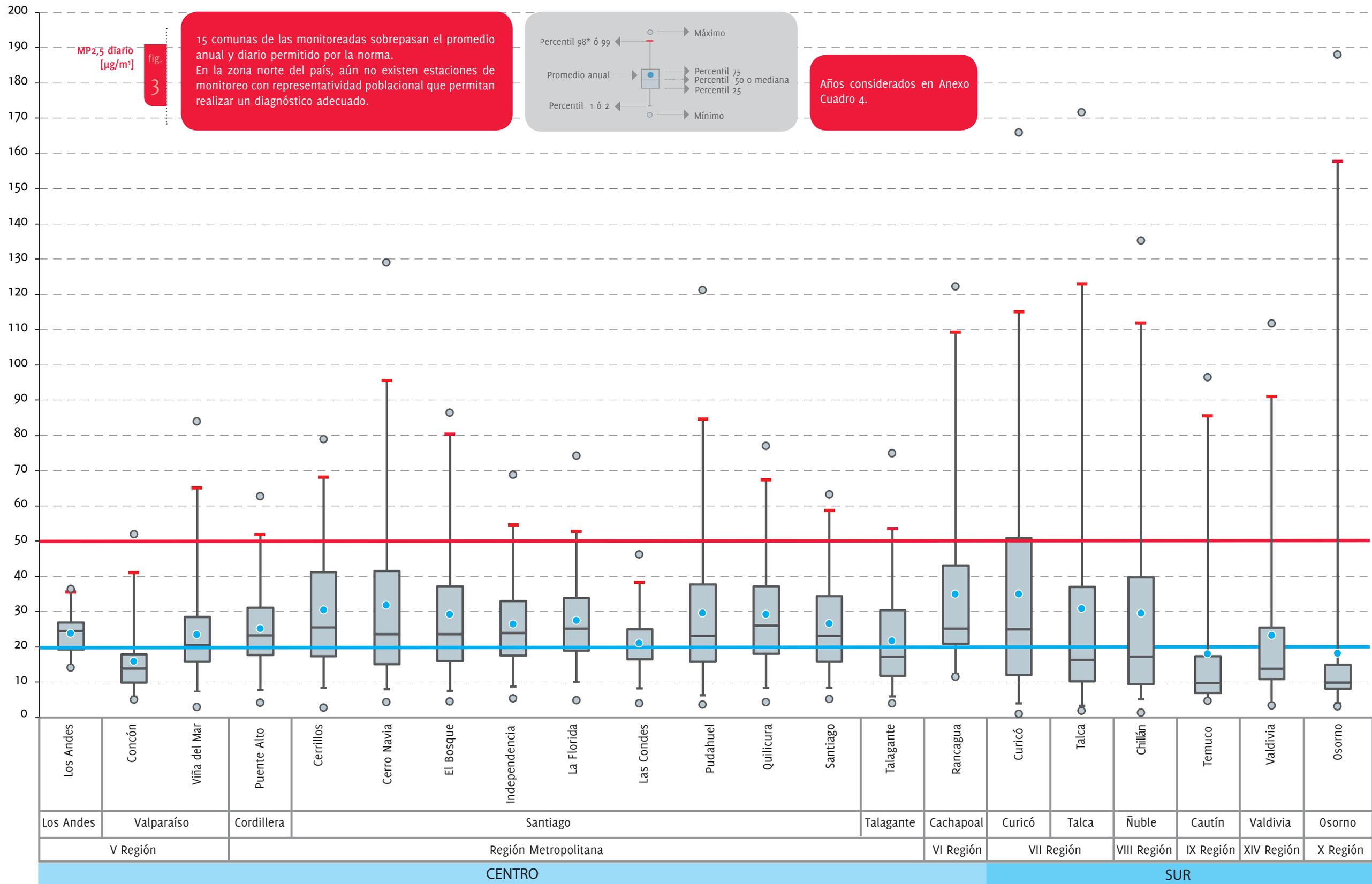
TIPO DE EVENTO	EVENTO	GRUPO DE EDAD	CASOS
Mortalidad prematura	Cardiopulmonar	Todos	4.200
Admisiones hospitalarias	Ataques al corazón	65+	2.500
	Disritmia	65+	1.200
	Enfermedad isquémica al corazón	65+	900
	Bronquitis crónica	18-64	700
		65+	1.200
Restricción de actividad	Neumonía	65+	6.800
	Días de pérdida de trabajo	Todos	1.570.000
	Días de actividad restringida	Todos	7.670.000
	Días de actividad restringida menor	Todos	28.900.000

* 10.000.000 personas a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anual de $MP_{2,5}$

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2011a).

Para un análisis más detallado de las concentraciones de los contaminantes normados, se han utilizado diagramas de caja que permiten mostrar, en forma simultánea, distintas medidas descriptivas, facilitando así la comparación. En este caso, estas medidas también permiten asociar los valores al cumplimiento normativo respectivo. Las figuras 3 y 4 muestran gráficos de la información disponible a nivel nacional para $MP_{2,5}$ y MP_{10} , respectivamente. Además, en Anexo se presentan gráficos para O_3 , SO_2 y NO_2 .

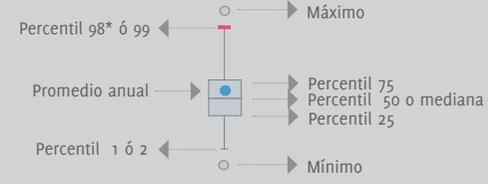




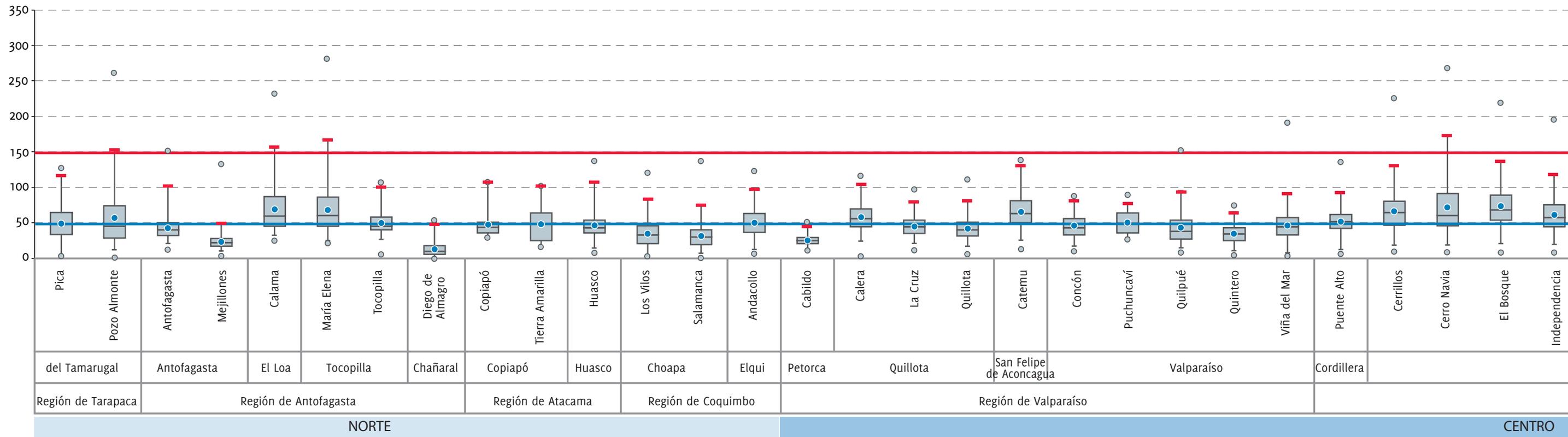
Concentración anual MP_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] a nivel nacional

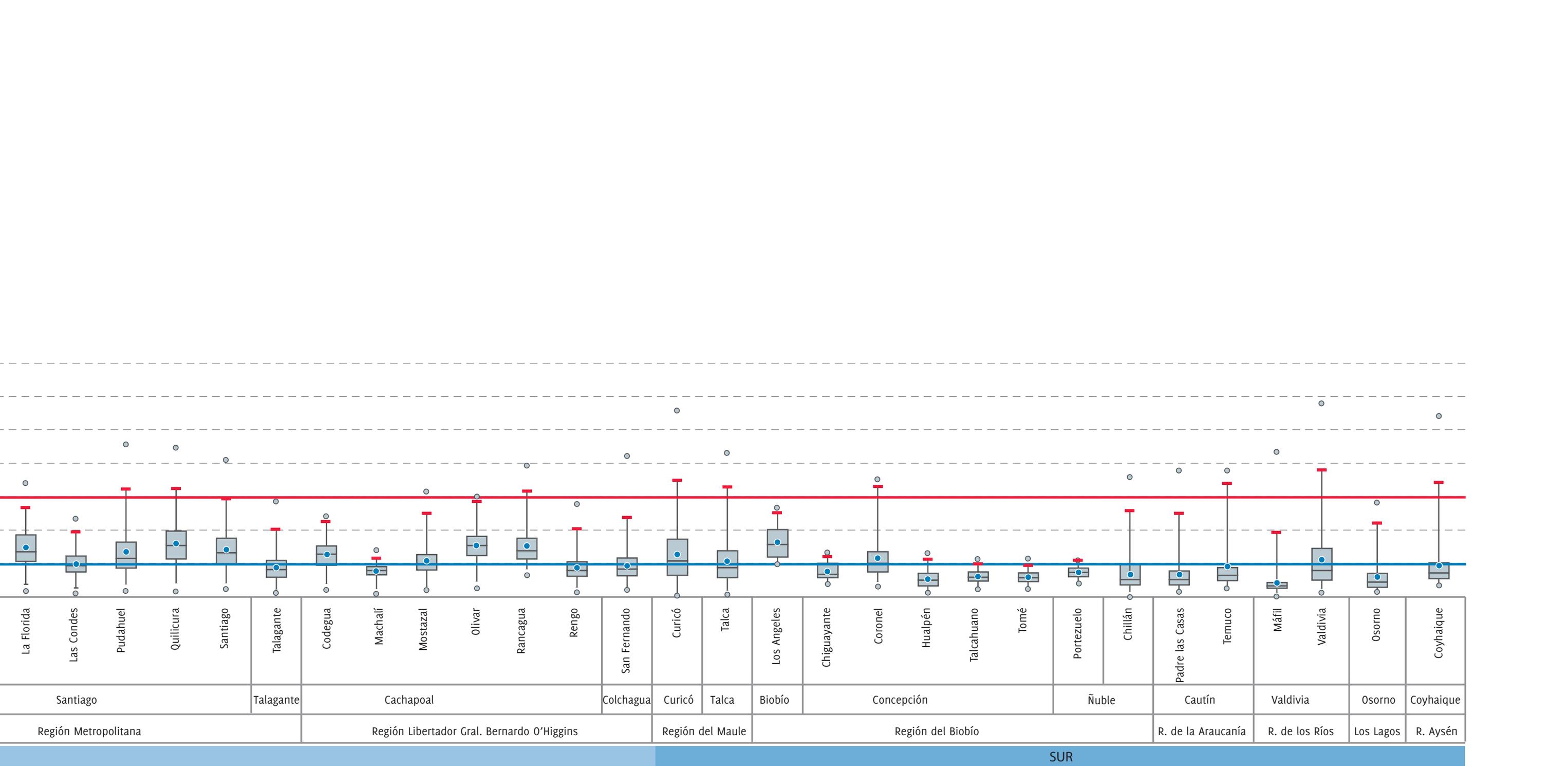
fig. 4

25 comunas sobrepasan el promedio anual permitido. En la zona sur, si bien los promedios anuales son menores al límite exigido, existen varios casos en que se sobrepasa el límite diario (percentil 98) que establece la norma.



Años considerados en Anexo Cuadro 4.







Causas: Emisiones 3 contaminantes

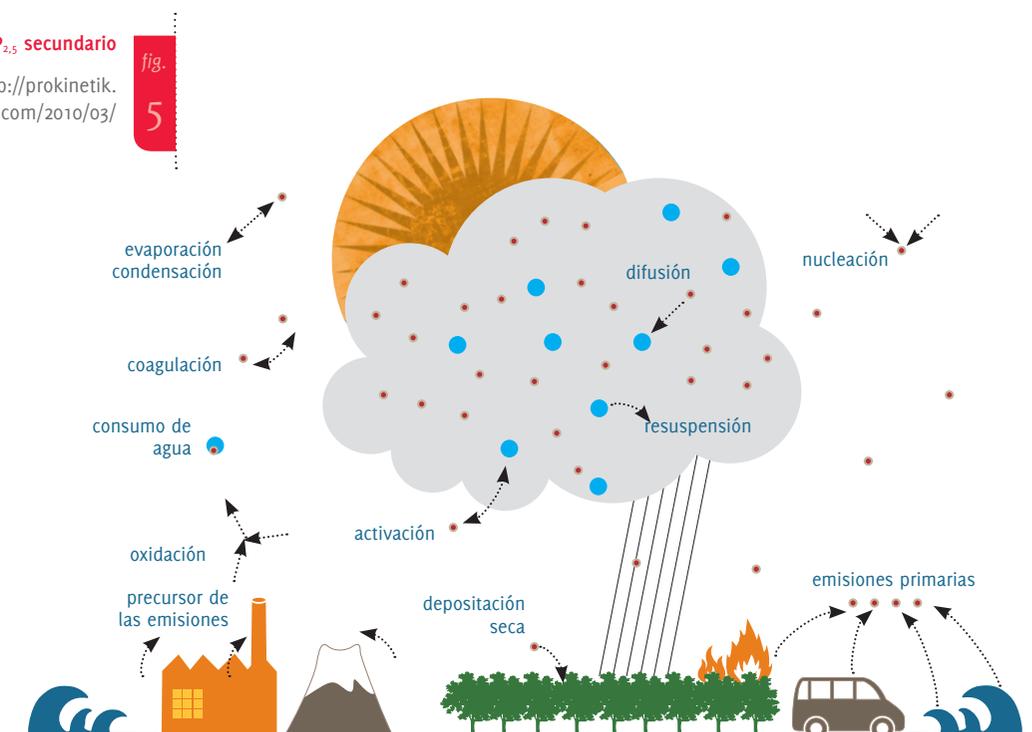
Las concentraciones de $MP_{2,5}$ y MP_{10} , SO_2 y NO_2 se producen principalmente por emisiones directas de estos contaminantes a la atmósfera, ya sea de origen antropogénico o natural. En tanto, el O_3 se forma por acción de la radiación solar, mediante reacciones químicas entre compuestos orgánicos volátiles (COV), NO_x y otros compuestos químicos presentes en la atmósfera (Jorquera, 2007).

El $MP_{2,5}$ también puede formarse por reacciones químicas entre contaminantes gaseosos precursores de material particulado, tales como SO_x y NO_x y otros compuestos atmosféricos. A este tipo de $MP_{2,5}$ se le conoce como material particulado secundario.

El material particulado secundario se forma tanto por la condensación de gases enfriados después de su emisión, que se añaden a partículas ya existentes y se van combinando entre sí para formar conglomerados de mayor tamaño, como también mediante la formación de gotas de nubes o neblina, a las cuales los gases condensados sirven de núcleos.

Formación de $MP_{2,5}$ secundario

Fuente: <http://prokinetik.wordpress.com/2010/03/>



Las principales fuentes emisoras de contaminantes, pueden ser clasificadas, según sus características en fuentes fijas, móviles y fugitivas. Las fuentes fijas consideran las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor o vapor y otros procesos industriales, como por ejemplo la fundición del cobre. También incluyen las emisiones generadas por la quema de otros combustibles como la biomasa, asociada a la calefacción de viviendas.

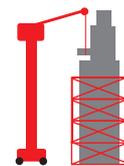
Las fuentes móviles corresponden a las emisiones provenientes de los gases de escape, desgaste de frenos y neumáticos, de distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas.

Las fuentes fugitivas, consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras. El material particulado asociado a este tipo de fuentes corresponde principalmente a partículas gruesas, siendo prácticamente el 90% mayores a 2,5 micrometros (μm) (Chow y Watson, 1998). Las emisiones fugitivas también tienen un origen natural, debido a la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos como la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones.

El Cuadro 4 presenta una clasificación de fuentes, que corresponde a la que, generalmente, se utiliza en la elaboración de los inventarios de emisiones en Chile.



FUENTES FIJAS



FUENTES FUGITIVAS



FUENTES MÓVILES

Cuadro 4 Clasificación de fuentes emisoras

TIPO	CONTAMINANTES	SUBTIPO	EJEMPLO DE ACTIVIDADES
Fuentes fijas	MP ₁₀ , MP _{2,5} , SO _x y NO _x	Areales	Calefacción residencial, quemas agrícolas e incendios forestales.
		Puntuales (industria)	Generación eléctrica, procesos industriales como combustión en calderas generadoras de vapor y hornos industriales, y otros procesos industriales como la fundición de cobre.
Fuentes fugitivas	MP ₁₀ , MP _{2,5}	Polvo resuspendido	Construcción de edificios Calles sin pavimentar Erosión eólica
Fuentes móviles	MP ₁₀ , MP _{2,5} , NO _x , COV, SO _x	En ruta	Buses, camiones, vehículos particulares, vehículos comerciales, taxis y motocicletas
		Fuera de ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos.

Fuente: Elaboración propia en base a Jorquera (2007).

Para analizar las emisiones de contaminantes a nivel regional, es necesario contar con información precisa sobre localización y contaminantes emitidos por las distintas fuentes emisoras. Son pocas las ciudades de nuestro país que cuentan con un inventario de emisiones con un nivel de detalle adecuado y, por lo general, corresponden a ciudades con un número significativo de habitantes o zonas con presencia de mega fuentes industriales. Sin embargo, es posible realizar un diagnóstico general en base a la información recopilada por el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).

Para caracterizar y analizar las emisiones de MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_x y SO_x , se consideró el Reporte 2011 del RETC, que incluye información declarada al 2009. Asimismo, se incluyen otros sectores no contemplados aún en el RETC, como las emisiones por quema de leña para calefacción residencial y emisiones difusas del proceso de fundición de cobre, proporcionadas por MMA (2011b). En base a esta información, se contabilizan aproximadamente 213.559 toneladas por año de $MP_{2,5}$, 708.782 toneladas por año de SO_x y 247.099 toneladas por año de NO_x . Las principales fuentes emisoras a nivel nacional corresponden a calefacción residencial a leña para $MP_{2,5}$, fundiciones de cobre para SO_x y centrales termoeléctricas para NO_x . Cabe destacar el significativo aporte de fuentes areales, tales como las quemas agrícolas, a las emisiones directas de $MP_{2,5}$, a nivel nacional.

fig. 6

Distribución por tipo de fuente, año 2009

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2011b) y MMA (2011c).

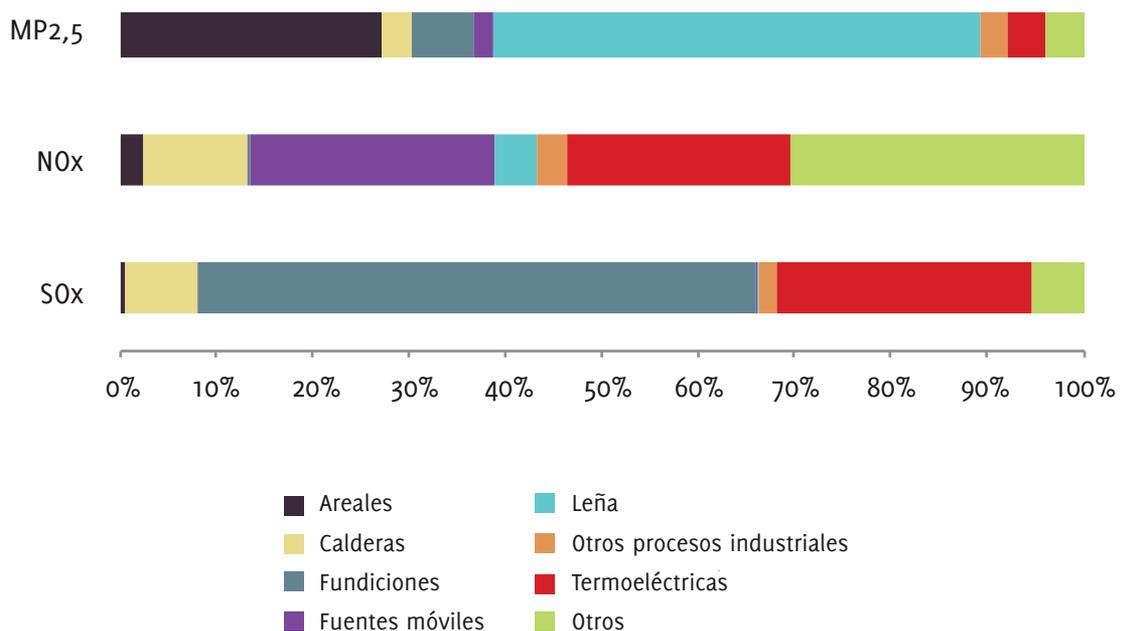
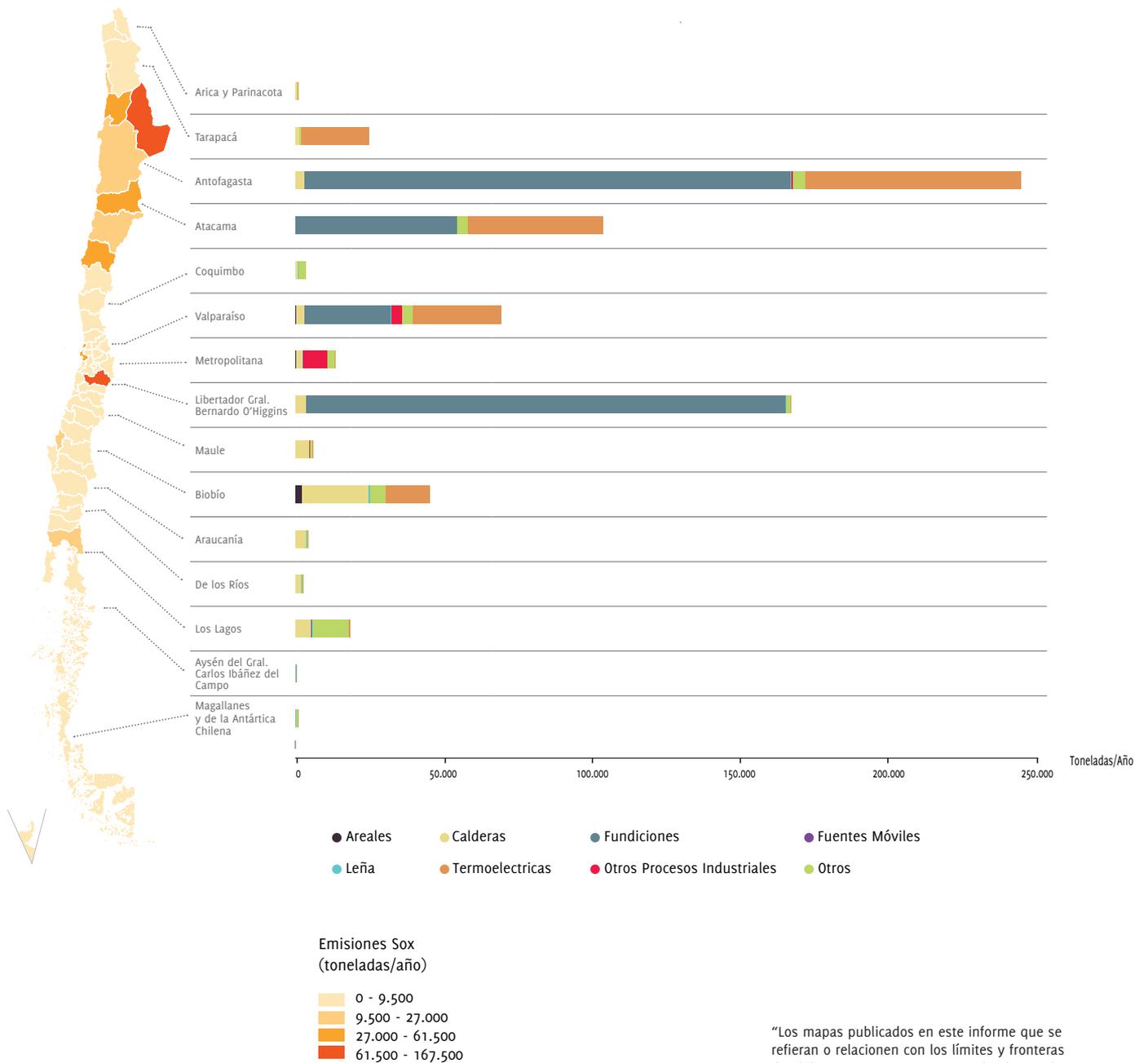


fig. 7

Mapa de Emisiones del Sox por provincia Gráfico de Emisiones del Sox por región y rubro

Fuente: Elaboración propia en base a RETC (2011) y MMA(2011b).

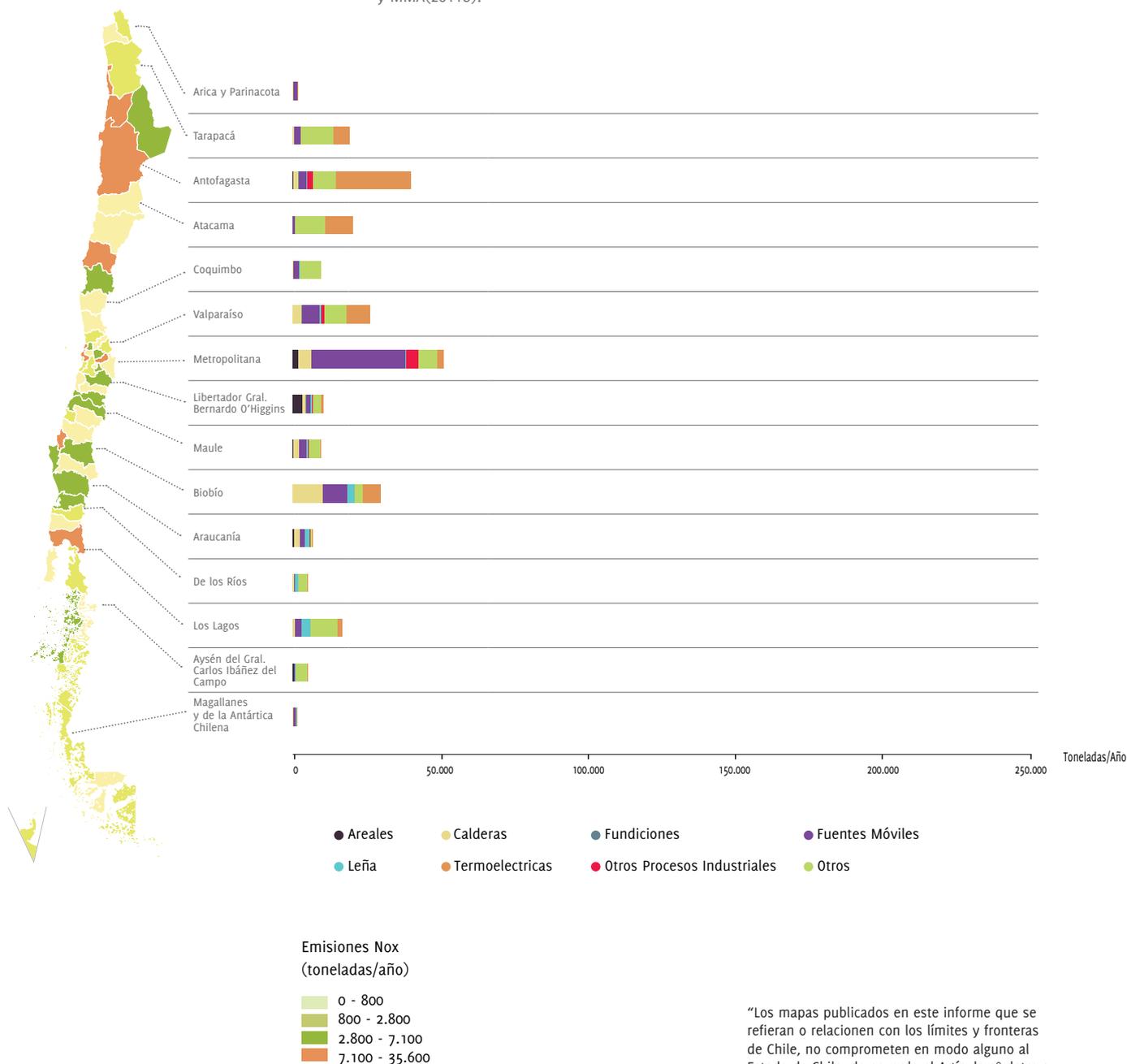


“Los mapas publicados en este informe que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2º, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”

fig. 8

Mapa de Emisiones de Nox por provincia Gráfico de Emisiones de Nox por región y rubro

Fuente: Elaboración propia en base a RETC (2011) y MMA(2011b).

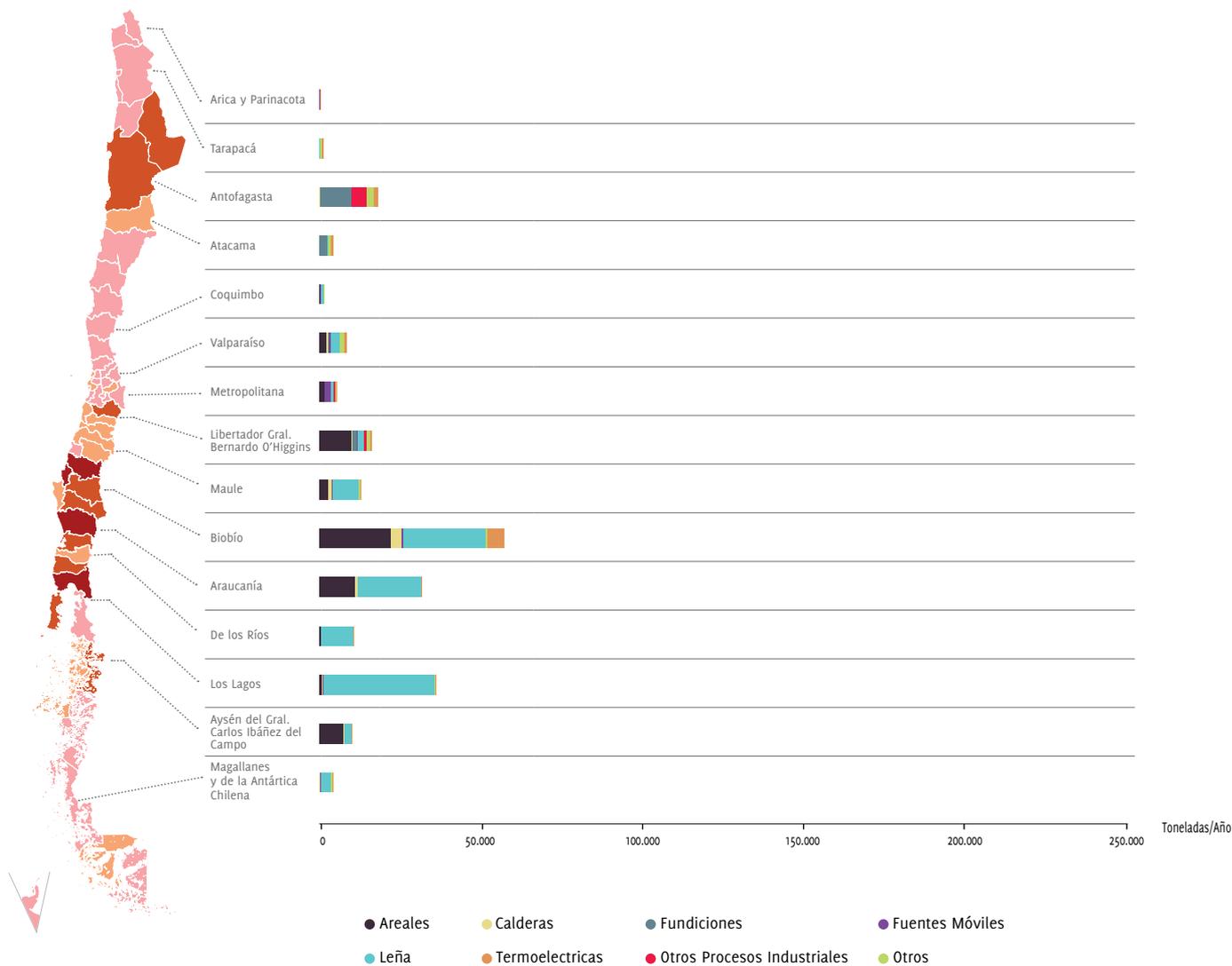
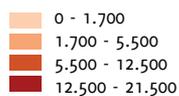


“Los mapas publicados en este informe que se refieran o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2°, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”

fig. 9

Emisiones de MP_{2,5} por región y rubro

Fuente: Elaboración propia en base a RETC (2011) y MMA(2011b).

**Emisiones MP_{2,5}
(toneladas/año)**

“Los mapas publicados en este informe que se refieren o relacionen con los límites y fronteras de Chile, no comprometen en modo alguno al Estado de Chile, de acuerdo al Artículo 2°, letra g del DFL 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores. La información cartográfica está referenciada al Datum WGS84 y es de carácter referencial”



Acciones: Control de la contaminación atmosférica 4

En Chile, la gestión de la calidad del aire se inició hace cincuenta años, principalmente con medidas de comando y control, como fue la dictación del Decreto 144 del Ministerio de Salud, en 1961. Dicho decreto estableció “normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza”, sin embargo, no estableció límites de concentraciones, dejando esta potestad al Ministerio de Salud. Posteriormente, en 1978, mediante la Resolución 1.215 del Ministerio de Salud, se definieron concentraciones máximas para algunos contaminantes, como dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono troposférico y partículas en suspensión, originándose así la primera norma de calidad del aire en el país.

En este contexto, se evidenció que la Región Metropolitana, lugar de mayor concentración de la población chilena, registraba uno de los mayores problemas de contaminación del aire. Ello motivó que en el año 1990 se creara la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM), organismo responsable de las primeras medidas de control implementadas en la ciudad de Santiago. **Más tarde, tras la promulgación de la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente, la gestión para enfrentar la contaminación y la calidad del aire se intensifica, estableciéndose para ello distintos instrumentos de gestión, que además de normas de emisión, incluyeron, entre otros, los planes de prevención y descontaminación.**

Como resultado de esta gestión, actualmente el país cuenta con normas de emisión⁷ para fuentes fijas y móviles, detalladas en el Cuadro 5.

⁷] De acuerdo con la Ley 19.300, las normas de emisión son aquellas que “establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante medida en el efluente de la fuente emisora”.

Cuadro 5 Normas de emisión vigentes, según fuentes

FUENTES	ACTIVIDAD	CONTAMINANTES	ALCANCE	DECRETO SUPREMO
Fuentes fijas	Fuentes fijas que emiten arsénico	As	Nacional	165/1999 MINSEGPRES actualizada mediante Decreto 75/2008 MINSEGPRES
	Fabricación de pulpa sulfatada	H ₂ S	Nacional	167/1999 MINSEGPRES
	Incineración y co-incineración	MP, SO ₂ , NO _x , COT, CO, metales pesados, HCl, HF, benceno, dioxinas y furanos.	Nacional	45/2007 MINSEGPRES
	Centrales termoeléctricas	MP, SO ₂ , NO _x , Hg	Nacional	13/2011 MMA
	Sector industrial y comercial	MP, CO, SO ₂ , NO _x	RM	66/2010 MINSEGPRES
	Fuentes estacionarias, puntuales y grupales*	MP	RM	4/1992 MINSAL
Fuentes móviles	Vehículos livianos y medianos	CO, HC, NO _x , partículas	RM, V y VI región	54/1994 MTT
	Vehículos pesados	CO, HC, NO _x , MP	RM, V, IV, VI, VII, VIII, IX y X región	55/1994 MTT
	Motocicletas	CO, HCT	RM	66/2010 MTT
	Buses de locomoción colectiva	CO, HCT, HCNM, CH ₄ , NO _x y MP	RM	130/2001 MTT
	Vehículos livianos	HC Totales, CO, NO _x , Partículas	RM, V y VI región	211/1991 MTT
	Control de emisiones en plantas de revisión técnica	NO, HC Y CO	RM	149/2006 MTT

RM: Región Metropolitana/ MTT: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones/MMA: Ministerio de Medio Ambiente/MINSEGPRES: Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

*Fuente Estacionaria: es toda fuente diseñada para operar en lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montadas sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.

Fuente Estacionaria Puntual: es toda fuente estacionaria cuyo caudal o flujo volumétrico de emisiones superior o igual a mil metros cúbicos por hora (1.000 m³/hr) bajo condiciones estándar, medido a plena carga.

Fuente Estacionaria Grupal: es toda fuente estacionaria cuyo caudal o flujo volumétrico de emisiones inferior a mil metros cúbicos por hora (1.000 m³/hr) bajo condiciones estándar, medido a plena carga.

Fuente: Elaboración propia.

Las normas de emisión, junto con las normas de calidad, constituyen instrumentos orientados a prevenir y controlar la concentración de contaminantes en el aire. En aquellos casos en que se superen las normas de calidad, la ley establece otros instrumentos como los planes de prevención o descontaminación⁸, cuya elaboración se inicia una vez que se ha dictado el decreto que declara la zona latente o saturada. Tal como el caso de las normas, los planes de prevención y descontaminación han sido fundamentales para la gestión ambiental del aire en Chile⁹.

De acuerdo con la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, las acciones a implementar en el marco de los Planes de Prevención y Descontaminación pueden incluir normas de emisión, permisos de emisión transables, impuestos a las emisiones o tarifas a los usuarios y otros instrumentos de estímulo para acciones de mejoramiento y reparación ambientales (Art. 47). En el Cuadro 6 se muestran los planes vigentes a nivel nacional.

Asimismo, existen algunas localidades que cuentan con la declaración de zona saturada o latente, paso previo a la elaboración de un plan de prevención o descontaminación. El Cuadro 7 muestra las zonas que cuentan con este hito.

8] El plan de prevención es un instrumento que tiene por finalidad evitar la superación de una o más normas de calidad ambiental primaria o secundaria en una zona, mientras que el plan de descontaminación tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en tales las normas en una zona declarada como saturada.

9] Las condiciones para la utilización y elaboración de estos instrumentos están establecidas en la Ley 19.300.

Cuadro 6 Planes de prevención y descontaminación vigentes

REGIÓN	LOCALIDAD	MP ₁₀		SO ₂		DECRETO QUE ESTABLECE EL PLAN
		Anual	24 Hrs	Anual	24 Hrs	
Antofagasta	María Elena y Pedro de Valdivia		S			DS 164/1999/MINSEGPRES
	Chuquicamata		L	S	S	DS 206/2001/MINSEGPRES
	Tocopilla	S				DS 70/2010/MINSEGPRES
Atacama	Potrillo		S	S	S	DS 179/1999/MINSEGPRES
	Paipote				S	DS 180/1995/MINSEGPRES
Valparaíso	Puchuncaví (Ventanas)		S	S	S	DS 252/1992/MIN MINERIA
Metropolitana*	Todas las comunas	S	S			DS 66/2009/MINSEGPRES
Libertador General Bernardo O'Higgins	Caletones		S		S	DS 81/1998/MINSEGPRES
Araucanía	Temuco y Padre Las Casas		S			DS 78/2009/MINSEGPRES

(S) Zona saturada

(L) Zona latente

* El DS 131, 1996, MINSEGPRES declaró zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas en suspensión y monóxido de carbono, y zona latente por dióxido de nitrógeno, el área correspondiente a la Región Metropolitana.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7 Localidades que cuentan con decreto de zona latente o saturada

REGIÓN	LOCALIDAD	MP ₁₀		DECRETO DECLARACIÓN DE ZONA
		Anual	24 Hrs	
Antofagasta	Calama	S		DS 57/2009/MINSEGPRES
	Tocopilla		S	DS 74/2008/MINSEGPRES
Coquimbo	Andacollo	S	S	DS 8/2009/MINSEGPRES
Libertador General Bernardo O'Higgins	Valle Central VI Región	S	S	DS 7/2009/MINSEGPRES
Maule	Talca y Maule	S	S	DS 12/2010/MINSEGPRES
Biobío	Concepción		L	DS 41/2006/MINSEGPRES

(L) Zona latente

(S) Zona saturada

Fuente: Elaboración propia

Caso de Santiago



La Región Metropolitana fue declarada zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas totales en suspensión y monóxido de carbono y zona latente por dióxido de nitrógeno, mediante D.S. N° 131/96 del 12 de junio de 1996 del Ministerio Secretaría General

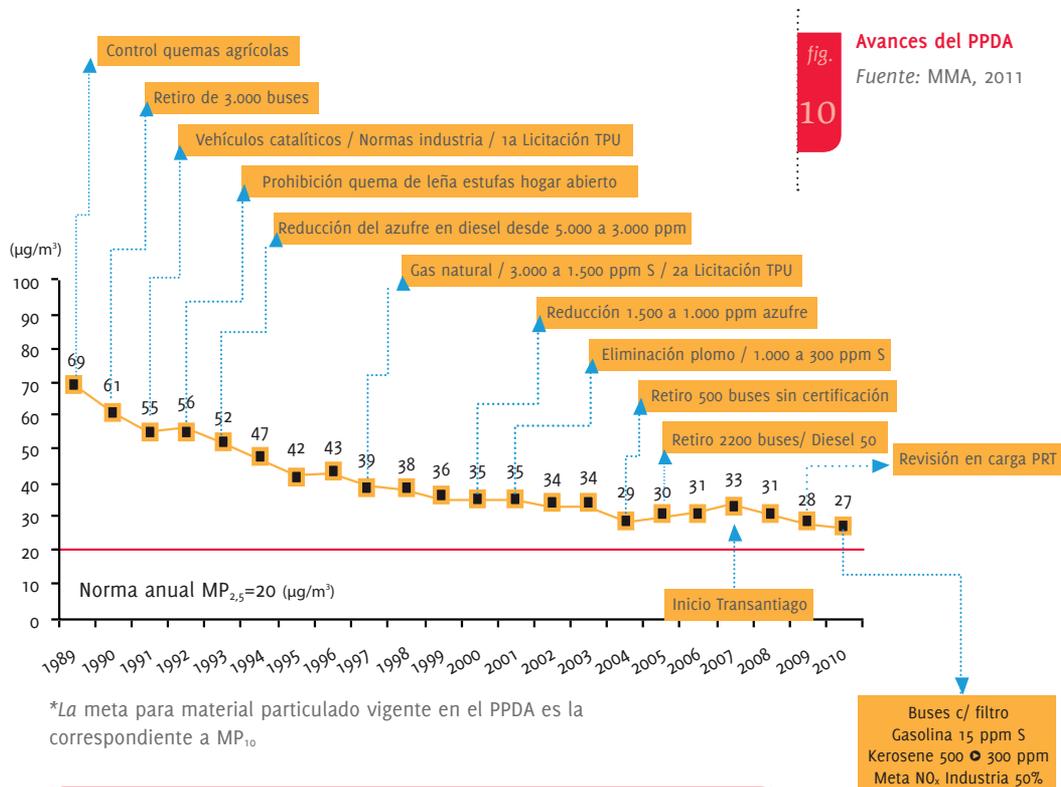
de la Presidencia. El año 1998, mediante el Decreto Supremo D.S.N°16/98, se dicta el primer Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA), instrumento de gestión ambiental cuyo objetivo es lograr el cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire y con ello, proteger la salud de los habitantes de la región. Este Plan, que fue actualizado mediante el Decreto Supremo N° 66 de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, contiene las metas de calidad del aire y medidas, orientadas al control de las emisiones de las principales fuentes contaminantes identificadas en el área.

Si bien la mayor parte de la contaminación en esta región se explica fundamentalmente por

actividades humanas, es importante tener presente que las condiciones geográficas y los altos niveles de estabilidad atmosférica que se observan en el período abril-agosto impiden una adecuada ventilación en la cuenca, favoreciendo la transformación y acumulación de contaminantes.

Las medidas consideradas en el PPDA han ayudado a reducir, de manera gradual y sistemática, los altos niveles de contaminación durante la última década, permitiendo atenuar la intensidad y duración de los episodios críticos en el tiempo.

Es así como en 1997 se registraron 37 días de preemergencias y cuatro días de emergencia ambiental y en 2011 sólo se registraron cuatro preemergencias, las cuales además fueron de una magnitud significativamente menor. Sin embargo, la tasa de disminución anual de las concentraciones de MP_{10} y $MP_{2,5}$, se ha visto mermada con el tiempo y las concentraciones se han estabilizado, sin alcanzarse aún el cumplimiento de las normas de MP_{10} , O_3 y CO .



Sin perjuicio de que la declaración de zona saturada para la Región Metropolitana corresponde a MP_{10} , históricamente las medidas del PPDA han estado enfocadas en reducir $MP_{2,5}$.

Días de alta y baja visibilidad, 🚇 Estación de Metro San Joaquín, 2006



Las medidas consideradas en el PPDA han ayudado a reducir, de manera gradual y sistemática, los altos niveles de contaminación durante la última década



A pesar de los esfuerzos ambientales y de los distintos instrumentos utilizados, el país aún no cumple con los estándares establecidos en las normas de calidad primaria y secundaria vigentes. En este contexto y dada la complejidad del problema, en 2010, el Ministerio del Medio Ambiente inició la elaboración e implementación del Programa Aire Limpio, mediante el cual se busca mejorar la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país, incorporando así un enfoque nacional a la gestión en esta materia. Este programa está orientado al control del $MP_{2,5}$, así como sus contaminantes precursores, principalmente el SO_2 y NO_x , con el fin de contribuir al cumplimiento de las normas de calidad del país.

El Programa Aire Limpio tiene como objetivo principal mejorar la calidad del aire a nivel nacional, mediante un enfoque preventivo, con énfasis en la protección de la salud de las personas. En este contexto, se priorizó la publicación de la norma de calidad del aire para $MP_{2,5}$, la cual entró en vigencia en enero del año 2012. Esta norma, que constituye un soporte fundamental para llevar adelante una gestión de la calidad del aire más focalizada y eficiente, exige estándares equivalentes a la normativa europea, imponiendo un importante desafío tanto para la Región Metropolitana como para otras ciudades a lo largo del país.

Como estrategia, este programa prioriza acciones para abordar los sectores identificados como los principales responsables de la contaminación como son el sector industrial, transportes y residencial. Asimismo, el programa reconoce que los planes de descontaminación no han sido suficientes para resolver los problemas de calidad del aire en el país, así como también que la carencia de normas de emisión a nivel nacional, tanto para las actividades industriales identificadas como más contaminantes, como para fuentes móviles y calefactores a leña; no ha permitido responder de manera eficiente al aumento de estas fuentes emisoras en otras ciudades, fuera de la Región Metropolitana.

El Programa Aire Limpio también contempla avanzar en el fortalecimiento de las capacidades de monitoreo de calidad del aire a nivel nacional, aumentando la cobertura de medición del $MP_{2,5}$ y también mejorando el acceso público a la información de calidad del aire.

A continuación, se detallan las medidas contempladas para cada uno de los sectores priorizados.

Sector industrial

A lo largo del país se identifican zonas industriales donde se constatan problemas de calidad del aire. Las principales actividades económicas incluyen la minería extractiva, fundiciones de cobre, plantas de generación de energía, siderurgia, plantas cementeras, plantas de celulosa, industrias químicas y fo-

restales, entre otras. Para lograr una reducción significativa de emisiones en plazos razonables, se ha planteado llevar adelante un proceso de elaboración de normas de emisión, de alcance nacional, en aquellos sectores con mayor aporte en emisiones de MP_{2,5} y sus precursores.

De esta forma, se definieron líneas de acción asociadas a regulaciones de comando y control para actividades específicas como centrales termoeléctricas, fundiciones de cobre, así como de procesos industriales y de combustión. En este contexto y como parte de esta priorización, en junio de 2011 se publicó la norma de emisión para termoeléctricas, mientras que la norma de emisión para fundiciones de cobre se encuentra en proceso de elaboración, tal como la correspondiente a los procesos de combustión.

Uno de los temas fundamentales incorporados en las normas de emisión para este tipo de fuentes, corresponde al monitoreo continuo y en línea de sus emisiones, medida que facilitará la fiscalización del cumplimiento de la normativa. Asimismo, para su adecuada implementación, se definirán criterios respecto al tamaño de las fuentes que requieren este tipo de sistemas, así como los protocolos de monitoreo, seguimiento y difusión de la información que permitan asegurar la calidad de la información reportada.

A través de la acción conjunta de normas de emisión, sistemas de monitoreo continuo de emisiones y una mayor fiscalización liderada por la Superintendencia del Medio Ambiente, se espera lograr una reducción de emisiones significativa en estos sectores.

Cuadro 8 Acciones según sectores y actividades priorizadas

FUENTES	MEDIDA	PLAZO	CONTAMINANTES	ACTO ADMINISTRATIVO
Centrales termoeléctricas	Norma de emisión en centrales nuevas y existentes	2011	MP, SO ₂ , NO _x y Hg	DS N°13 del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en junio de 2011.
Fundiciones de cobre	Norma de emisión en fundiciones de cobre nuevas y existentes	2012	MP, SO ₂ , As y Hg	Resolución exenta N° 300 de marzo de 2011 dio inicio al proceso
Calderas generadoras de vapor y otros procesos de combustión	Norma de emisión para calderas de generación de vapor y otros procesos de combustión	2013	MP, SO ₂ , NO _x	Resolución exenta N° 285 de 24 de marzo de 2010 aprueba programa priorizado 2007-2009.
Monitoreo continuo	Termoeléctricas, fundiciones de cobre y procesos de combustión	2013	MP, SO ₂ , NO _x , As y Hg	Exigencia incluida en normas de emisión

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, aún sigue pendiente la utilización de instrumentos económicos como permisos de emisión transables, para lo cual se requiere la tramitación de un proyecto de ley según lo establece la Ley 19.300. Se estima que un mercado de emisiones con permisos de emisión transables, otorgaría a las fuentes reguladas mayor flexibilidad para cumplir con las normas requeridas, al mismo tiempo, significaría mayores incentivos para encontrar y poner en práctica las medidas que les permitan controlar sus emisiones a mínimo costo (Tietenberg, 1998). Precisamente, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en el marco de la Evaluación de Desempeño Ambiental realizada a Chile en 2005, recomienda evaluar las posibilidades de introducir instrumentos económicos en el marco normativo nacional, como los sistemas de cargos por emisiones al aire o la creación de mercados de emisiones (OCDE y CEPAL, 2005).

Actualmente, el Ministerio del Medio Ambiente se encuentra recabando antecedentes para evaluar la factibilidad de implementar esta medida en el país.

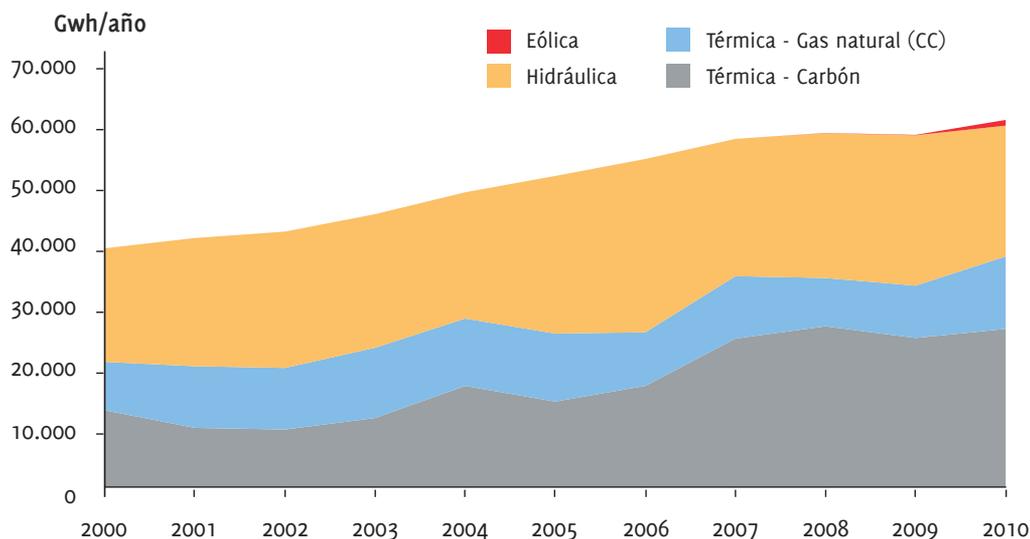
► Centrales termoeléctricas

En Chile, el sector termoeléctrico ha dado signos de un crecimiento importante en los últimos 20 años, impulsado básicamente por proyectos sustentados en el uso del carbón, lo que ha significado que este combustible constituya el principal insumo del sector, representando en 2009 cerca del 44% de la generación termoeléctrica total del país.

fig. 11

Generación eléctrica por tecnología (Gwh)

Fuente: (INE 2000-2009) y cifras provisionales para 2010.



Los principales contaminantes emitidos en el proceso de combustión de termoeléctricas corresponden a material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y metales pesados como el mercurio (Hg). Las emisiones de estos contaminantes varían dependiendo del combustible utilizado y los equipos de abatimiento que incluya la central. De acuerdo con esto, las emisiones contaminantes por Gwh generado, son bastante menores en centrales de ciclo combinado que utilizan gas natural.

A pesar de que ha aumentado la generación térmica en el tiempo, antes del año 2011 no existían regulaciones específicas para este sector, salvo el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y planes de descontaminación locales. De esta forma, no se pueden apreciar reducciones importantes en las emisiones de centrales termoeléctricas, con excepción del SO_2 , cuya disminución ha sido consecuencia de las mayores exigencias de abatimiento en nuevas centrales establecidas en las resoluciones de calificación ambiental del SEIA (Figura 12).

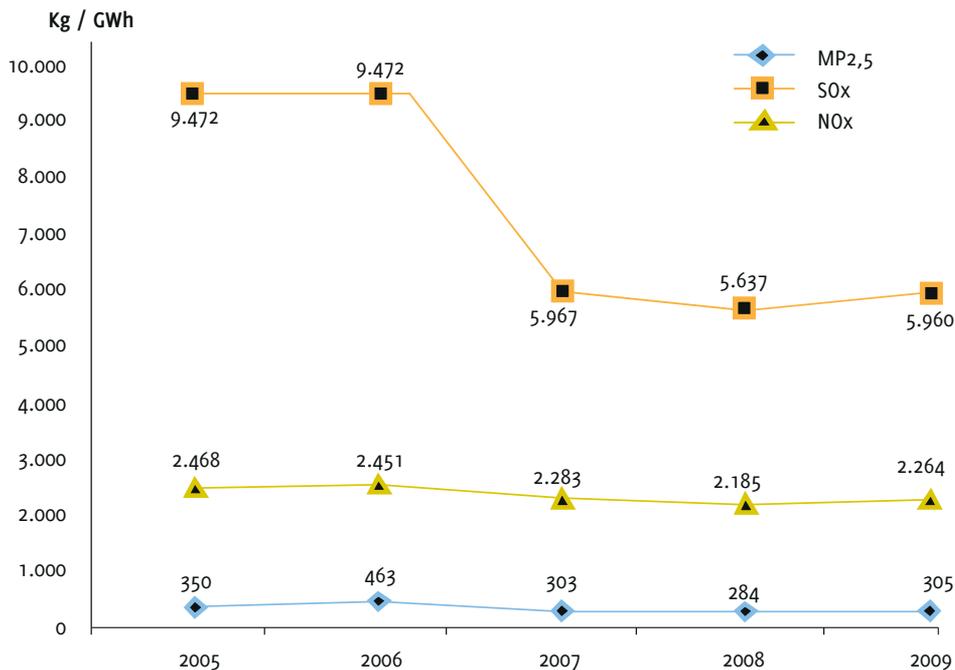


fig. 12

Emisiones centrales termoeléctricas por unidad de energía generada en el tiempo - SIC y SING

Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2011c) e INE (2005-2009).

En este contexto, se elaboró la norma de emisión para centrales termoeléctricas, publicada en junio del 2011, mediante la cual se busca controlar las emisiones al aire de material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y mercurio (Hg).

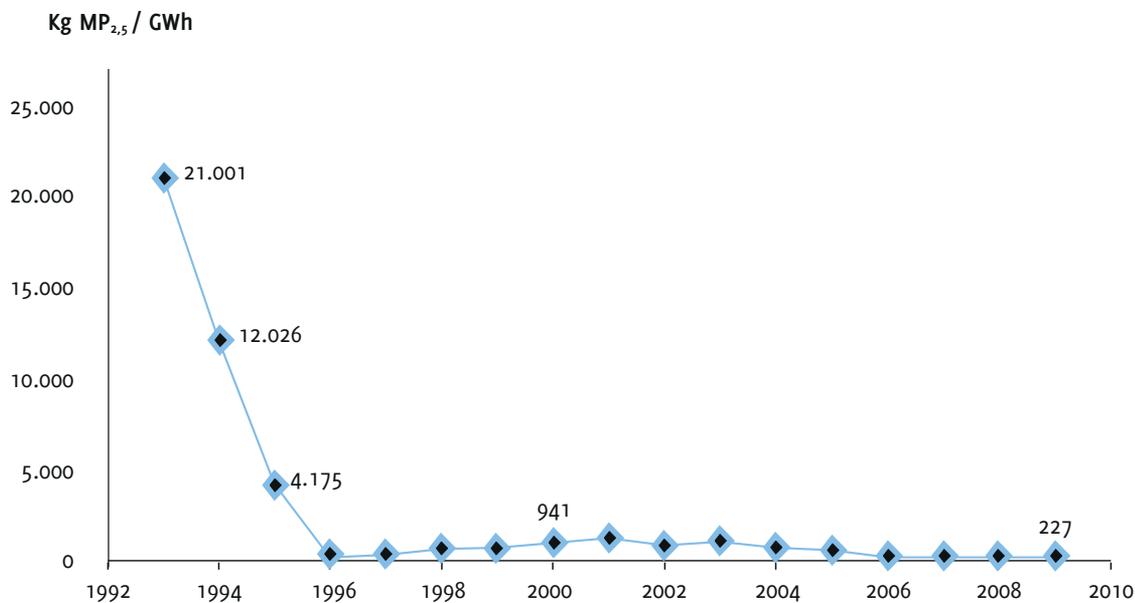
La norma establece límites diferenciados, por lo que las fuentes emisoras existentes deben cumplir los valores de emisión de MP permitidos en un plazo de 2,5 años, es decir, a diciembre de 2013. El resto de los parámetros se deberán ejecutar en máximo cuatro años (junio de 2015) en aquellas zonas declaradas como latentes o saturadas por MP, SO_2 o NO_x ; mientras que se otorgará un intervalo de 5 años y seis meses (diciembre de 2016) para que se apliquen en el resto del país. Entanto, las fuentes emisoras nuevas deben acatar las exigencias de la norma a partir de la entrada en vigencia de ésta, es decir, desde el 23 de junio de 2011.

Por otra parte, los planes de descontaminación, como el implementado en el complejo de generación térmica Las Ventanas, también muestran importantes beneficios, tal como se puede apreciar en la Figura 13.

fig. 13

Emisiones centrales termoeléctricas por unidad de energía generada en el tiempo - Ventanas

Fuente: SAG y MINSAL (2010).



► Fundiciones de cobre

Chile es reconocido mundialmente como un país de gran riqueza minera, siendo el mayor productor de cobre en el mundo. A nivel nacional, esta actividad tiene un gran impacto en el crecimiento económico. Así, en 2010, las exportaciones de este metal representaron 6,4% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Banco Central, 2011). No obstante los importantes beneficios que esta actividad genera para el país, también produce externalidades ambientales considerables, especialmente porque durante mucho tiempo no existió una adecuada verificación de su impacto.

Una de las etapas con mayor impacto ambiental corresponde a la fundición de cobre. Este proceso se realiza en hornos a altas temperaturas, separando así el cobre de los otros minerales. Los principales contaminantes liberados en este proceso corresponden a $MP_{2,5}$, SO_x , NO_x y arsénico (As).

En este contexto, a partir de los años noventa, se establecieron planes de descontaminación en torno a las fundiciones, para reducir sus emisiones de MP , As y SO_x . Los registros obtenidos en aquella época permiten constatar la mejora en la calidad ambiental obtenida desde la implementación de estas medidas.

Asimismo, tal como se aprecia en la Figura 14, la producción de ácido sulfúrico nacional se ha incrementado exponencialmente, como consecuencia directa de los procesos asociados a la reducción de contaminantes. El ácido sulfúrico puede reutilizarse en el proceso de lixiviación del cobre y en otras actividades productivas, adquiriendo así un valor de mercado. Esto demuestra que es posible, mediante el adecuado uso de la tecnología, desacoplar el cre-

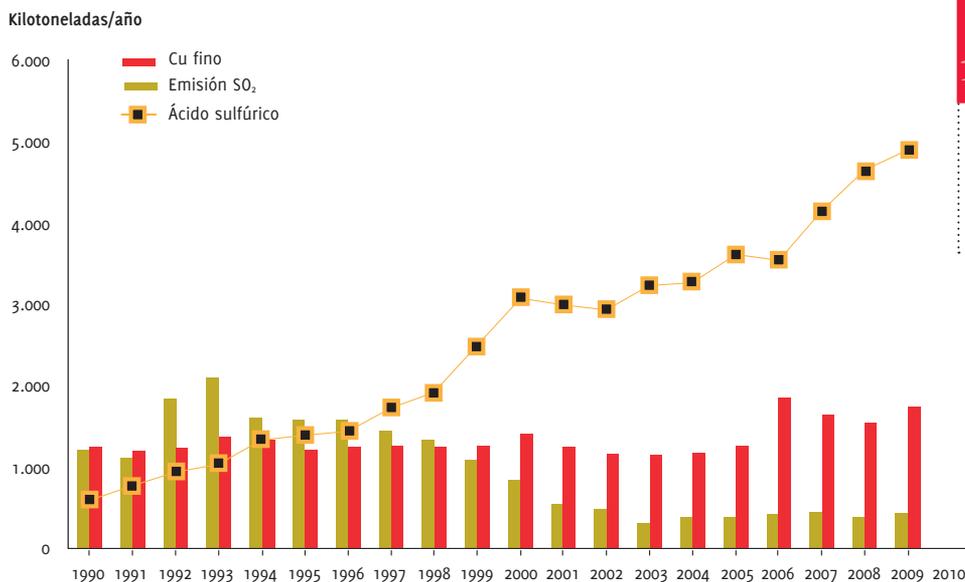


fig.

14

Disminución de emisiones de SO_2 , en relación a la producción de cobre fino.

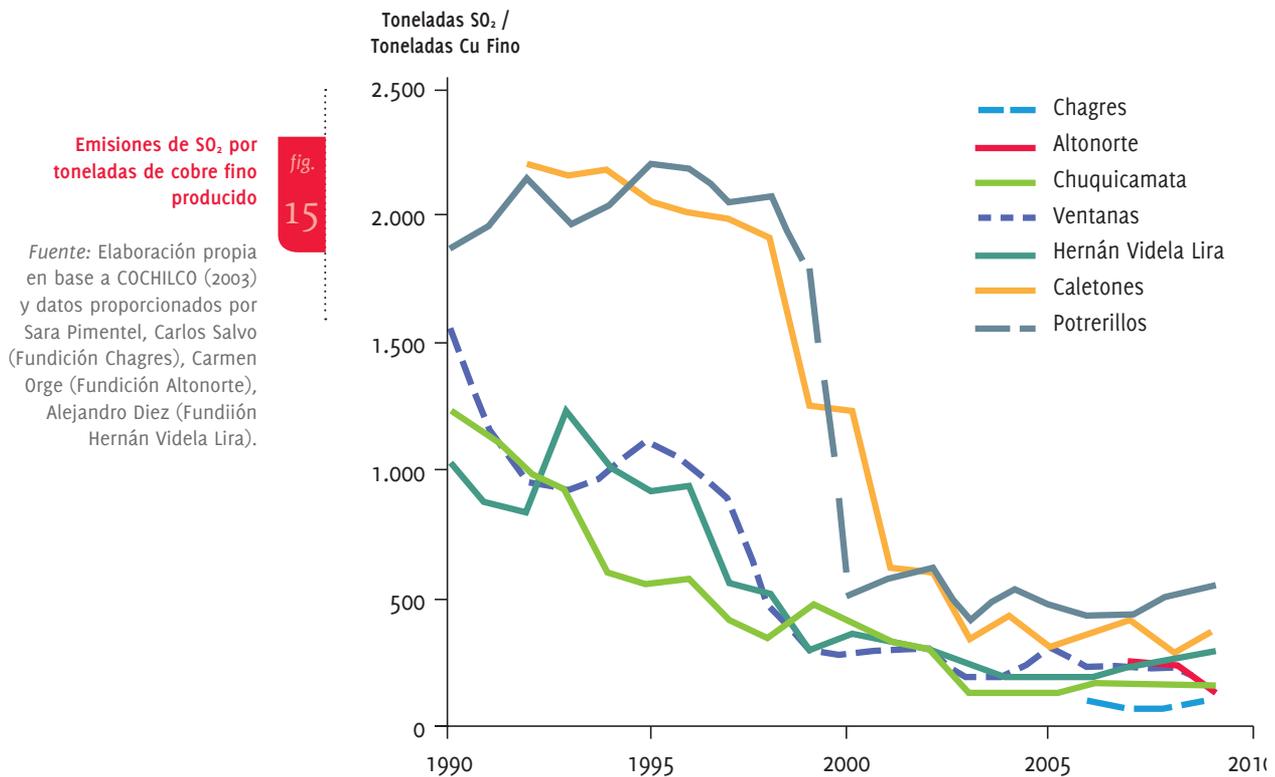
Fuente: Elaboración propia en base a COCHILCO (2003) y datos proporcionados por Sara Pimentel, Carlos Salvo (Fundición Chagres), Carmen Orge (Fundición Altonorte), Alejandro Díez (Fundición Hernán Videla Lira).

cimiento de la minería de efectos adversos desde el punto de vista ambiental.

La fundición de cobre en Chile se encuentra compartida entre dos empresas privadas y cinco que corresponden a empresas del Estado (CODELCO), con un total de siete fundiciones. A pesar de que todas las compañías han hecho considerables esfuerzos por incrementar su eficiencia ambiental, la fundición privada Chagres destaca positivamente por su desempeño, tal como se puede observar en la Figura 15.

Pese a los avances, esta actividad sigue siendo un emisor relevante a nivel nacional, por lo que el Ministerio del Medio Ambiente trabaja actualmente en la elaboración de un anteproyecto de norma de emisión para fundiciones de cobre, la cual se espera publicar el año 2012.

Otra medida en curso corresponde al programa voluntario Acuerdo de Producción Limpia: Zona Industrial Puchuncaví – Quintero, Región de Valparaíso, firmado el 1 de diciembre de 2011, mediante el cual 10 empresas de distintos sectores productivos, incluida la fundición de Ventanas, buscan “incorporar medidas y tecnologías de producción limpia, para reducir la contaminación y aumentar la eficiencia productiva” (APL, 2011). Este acuerdo establece 80 metas, las cuales implican una inversión de USD \$100 millones y cuyo cumplimiento tiene un plazo máximo de 24 meses.

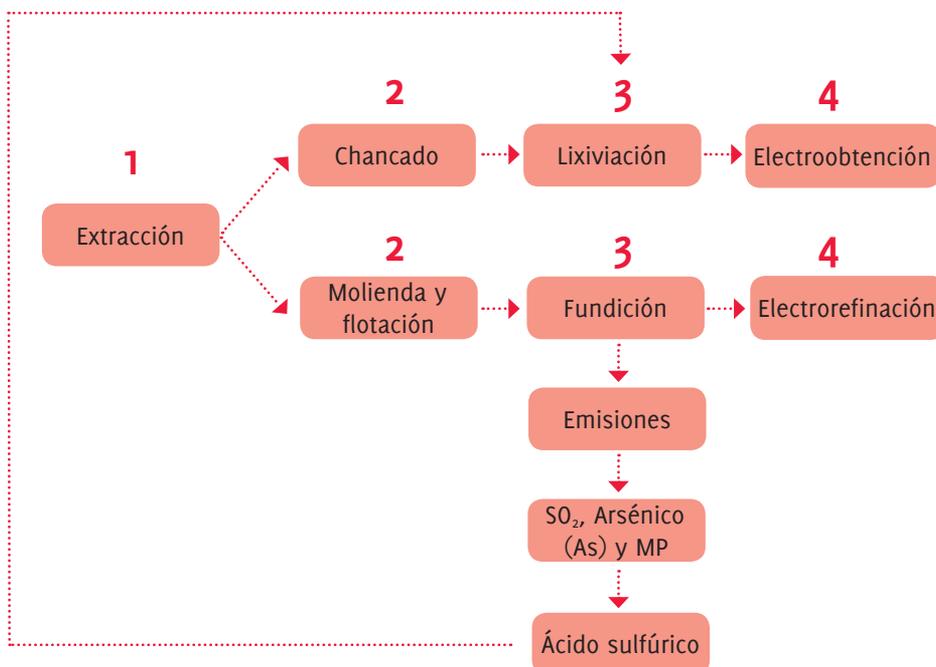


Fundición y lixiviación del cobre

Dos de los principales procesos asociados a la explotación del cobre son la fundición y la lixiviación, ambos tienen como objetivo purificar el concentrado de cobre. La fundición permite separar el cobre de otros minerales, en tanto, la lixiviación permite remover el cobre de los minerales que lo contienen.



El proceso de fundición genera emisiones de dióxido de azufre (SO_2), arsénico (As) y material particulado (MP). Los gases (monóxidos y dióxidos) generados en dicho proceso son utilizados para producir ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual tiene un valor de mercado en la minería para el proceso de lixiviación, mediante el cual se obtienen cátodos SxEw. De acuerdo con la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Chile es el líder mundial en la producción de cátodos SxEw, con una participación del 69,1% en este segmento en 2009, un 10% mayor que la registrada el año 2000. Los países que le siguen son EE.UU. y Perú con el 15,7% y el 5,3%, respectivamente.



► Calderas generadoras de vapor y otros procesos de combustión

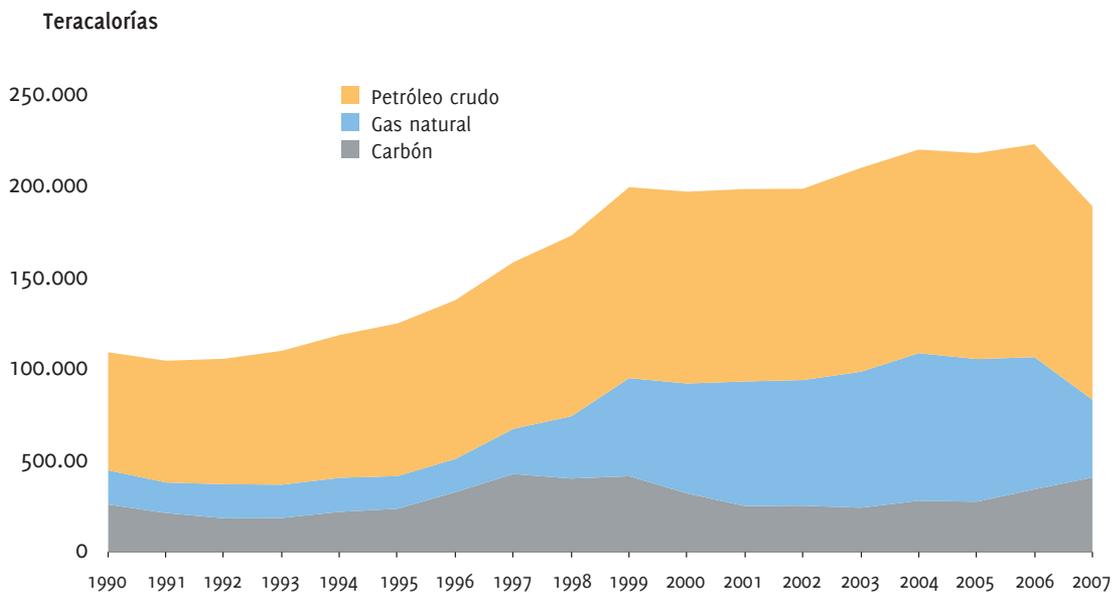
Los procesos de combustión están presentes en diversos rubros, con características muy distintas, tanto respecto a su potencia, como a la tecnología de combustión. En el caso de la actividad industrial, el consumo de combustible ha crecido 63% desde el año 1990.

Los principales contaminantes emitidos en el proceso de combustión corresponden a: material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). A pesar de estar disponibles estas medidas de control de emisiones primarias y secundarias, las características antes enunciadas complejizan el diseño de instrumentos regulatorios que permitan alcanzar reducciones efectivas y eficientes. Pese a ello, la norma de emisión para calderas generadoras de vapor forma parte del programa estratégico de normas 2007- 2009, por lo que constituye un ámbito relevante para la gestión en materia de calidad del aire.

fig. 16

Aumento de consumo de combustible en el tiempo para procesos industriales

Fuente: CNE (1991 -2008)



Sector transporte

Las fuentes móviles generan emisiones de contaminantes atmosféricos, que impactan en forma directa a los habitantes de los centros urbanos de mayor densidad, localizados en la zona centro-sur de nuestro país. En un escenario de desarrollo económico, este sector posee un amplio margen de crecimiento, tal como se observó en el año 2010, periodo en que la venta de vehículos nuevos alcanzó un récord histórico de más de 300 mil unidades.

El potencial de crecimiento de este sector también se relaciona con la actual tasa de motorización en Chile, de 0,16 vehículos por habitantes, la cual puede considerarse baja en comparación con otros países de similar nivel de desarrollo, pero que, sin embargo, determina un parque vehicular que supera los 2,5 millones de unidades. Si Chile alcanzara, por ejemplo, una tasa de motorización similar a países como Portugal (0,5 vehículos por habitantes), el tamaño del parque podría llegar hasta 8 millones de vehículos. Asimismo, un factor relevante en el aumento de emisiones del parque vehicular corresponde al deterioro de sus sistemas de control de emisiones, como el convertidor catalítico y a la inadecuada mantención de los vehículos.



11] En la normativa vigente coexisten estándares de ingreso, según la normativa Europea y la impulsada por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA).

El aumento del parque ha incrementado las emisiones de NO_x , precursor de $\text{MP}_{2.5}$. Asu vez, el deterioro de los sistemas de control de emisiones, como el convertidor catalítico, también ha contribuido al aumento de las emisiones.

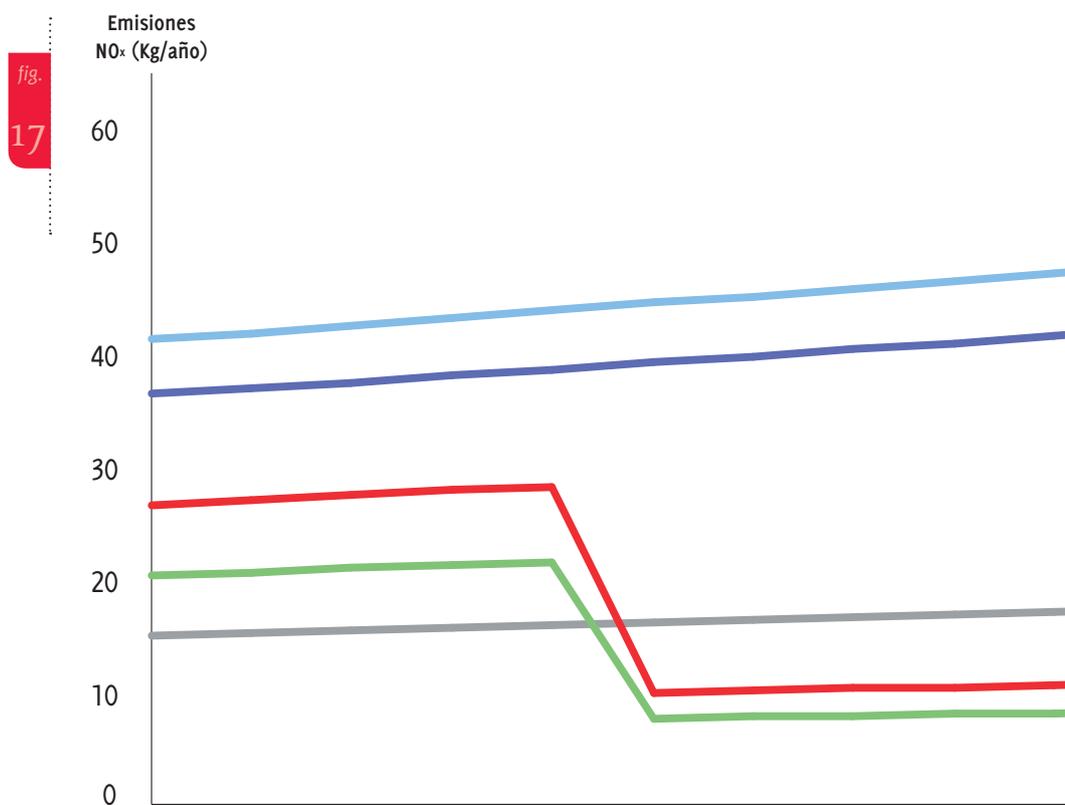
En materia de transporte, Chile requiere una estrategia para que el desarrollo del mercado automotriz no se traduzca en una mayor contaminación. Las normas de emisión para vehículos¹¹, principalmente en el marco del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, han permitido reducir las emisiones unitarias del parque de automóviles en el tiempo.

Sin embargo, dado el incremento proyectado del parque vehicular, se requieren estándares aún más estrictos que permitan desacoplar el aumento de emisiones del sector.

Para abordar el complejo problema del transporte y poder disminuir las emisiones contaminantes de este sector, se han definido una serie de acciones, basadas en las distintas herramientas de gestión antes señaladas.

Emisiones vehiculares según año de fabricación

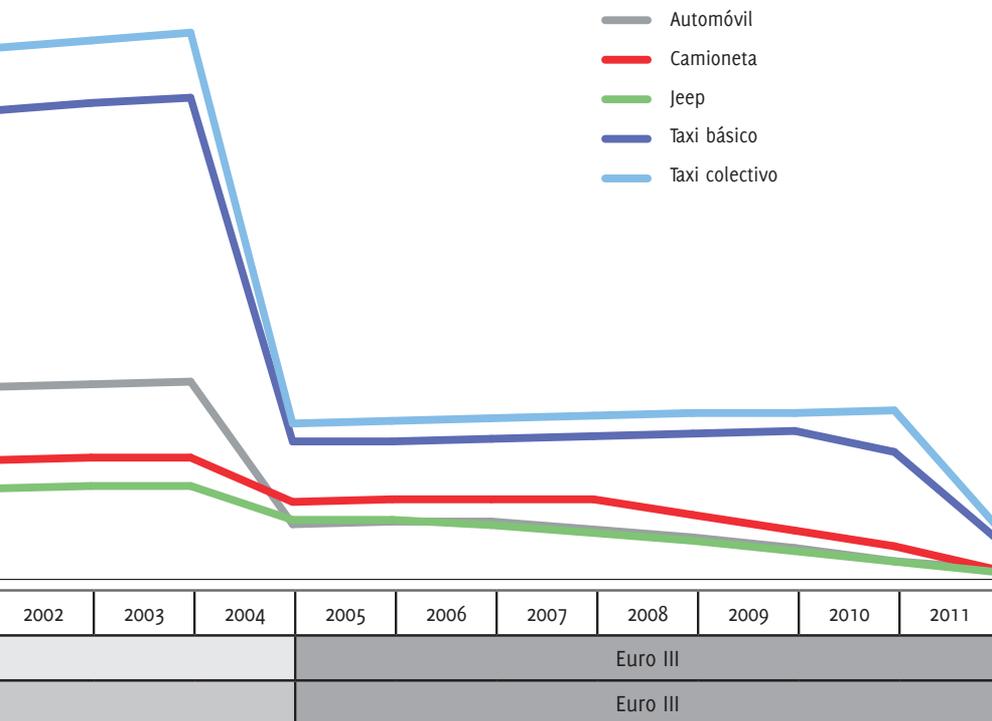
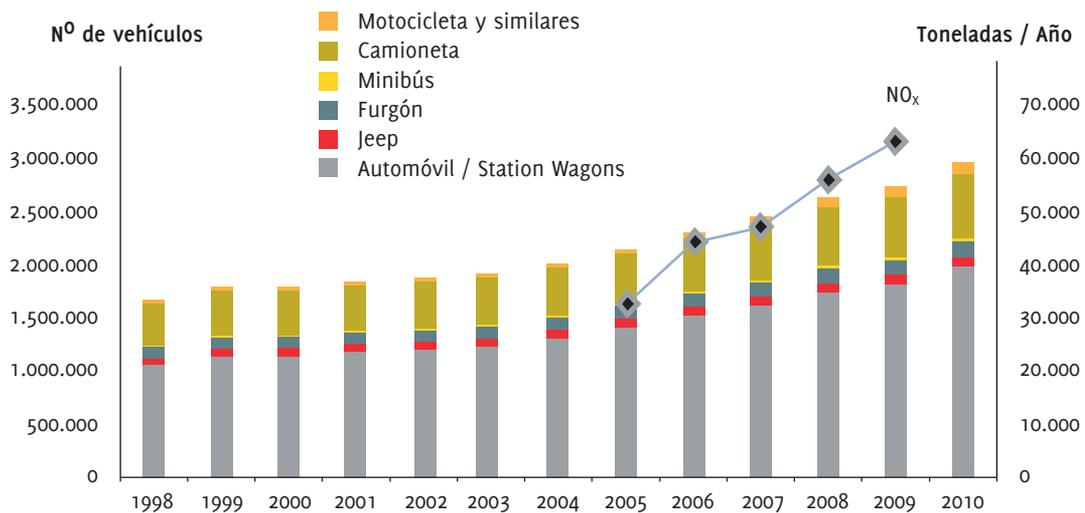
Fuente: MMA, 2011a.



Tipo/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
Pasajero	Euro I									
Comercial	Euro I					Euro II				

fig. 18 Aumento del parque vehicular y emisiones del sector transporte

Fuente: INE (2010) y MMA (2011c).



Cuadro 9 Medidas para reducir emisiones del sector transporte

INSTRUMENTOS	SEGMENTO	MEDIDA	PLAZO	DECRETO
Comando y control	Motocicletas	Normas de entrada más exigentes.	2013	104/MTT (en revisión)
	Vehículos livianos y medianos	Normas de entrada más exigentes.	2013	54/1994 MTT y 211/1991 MTT (ambos en revisión)
		Adecuación normativas a las nuevas tecnologías de baja y cero emisión. Vehículos podrán ser homologados bajo normas más exigentes en forma voluntaria.	2013	54/1994 MTT y 211/1991 (ambos en revisión)
		Aumentar las exigencias en Plantas de Revisión Técnica para identificar de mejor forma convertidores catalíticos en mal estado (Región Metropolitana - Valparaíso, L. Bernardo O'Higgins y Biobío).	2012-2014	149/2006 MTT (en revisión)
	Buses	Normas de entrada más exigentes.	2012	130/2001 MTT
		Criterios para renovación del parque vehicular (nacional).	2013	
	Camiones	Normas de entrada más exigentes (nacional).	2012	55/1994 MTT (en revisión)

Continúa en página siguiente

INSTRUMENTOS	SEGMENTO	MEDIDA	PLAZO	DECRETO
		Zona de baja emisión para camiones en las región Metropolitana (2012).	2014	DS 18/ 2001 MTT
	Mejoramiento del combustible	Contenidos de azufre en diesel y gasolina de 15 ppm (2013).	2012	DS 319 Ministerio de Energía
Instrumentos económicos	Vehículos livianos y medianos	Incentivos y desincentivos económicos para vehículos de baja y cero emisión.	2013	Recopilación de Antecedentes
		Eliminación de barreras de entrada para tecnologías de baja y cero emisión (e.g. infraestructura de carga vehículos eléctricos) para el desarrollo de la movilidad baja y cero emisiones.	2012-2014	-
Información al consumidor	Vehículos livianos y medianos	Diseño e implementación de un sistema de etiquetado para vehículos nuevos que considere: eficiencia, emisiones de contaminantes locales y CO ₂ (trabajo conjunto de los ministerios de Energía, Medio Ambiente y Transporte).	2012	DS15 Ministerio de Energía

Sector residencial

En Chile, la leña representaba el 20% del total del consumo de energía primaria en el año 2009, ocupando el segundo lugar después del petróleo crudo (CNE, 2008). Asimismo, es el principal combustible utilizado en los hogares del país, con un 58% del gasto energético del sector residencial (CNE, 2008). Pese a la importancia de la leña en la matriz energética nacional, este combustible y otros derivados de la madera, no son considerados como tales por la legislación chilena.

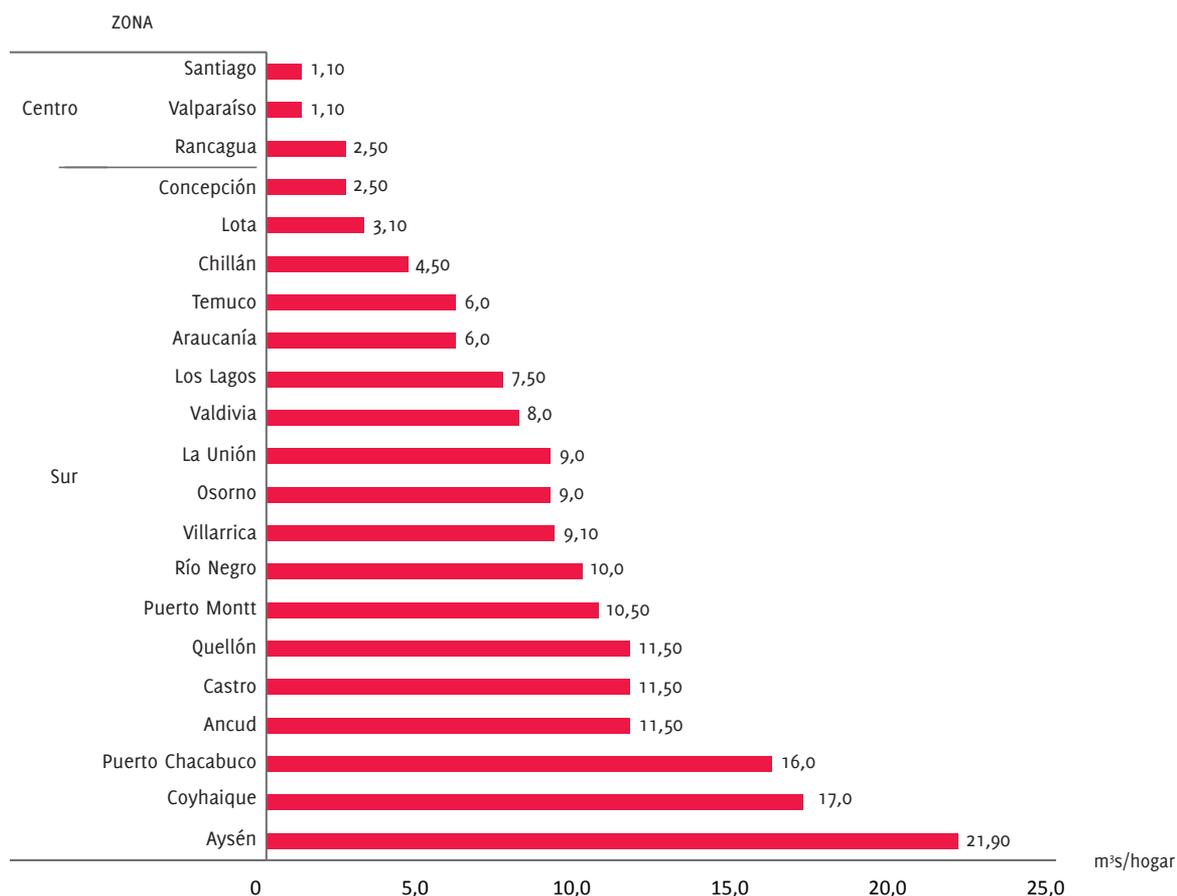


fig. 19

Distribución del consumo de leña en el país

Fuente: CNE (2006).

El uso de leña por hogar es mayor a medida que se avanza en latitud, debido a que las temperaturas promedio diarias disminuyen y las horas de frío aumentan, por lo tanto se incrementan las horas de funcionamiento de los calefactores. Por ejemplo, en Coyhaique el consumo anual de leña por hogar es 22 veces al de un hogar en Santiago.

La combustión a leña y derivados de la madera representa actualmente una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en todas las ciudades del centro-sur del país (Rancagua, Talca, Curicó, Linares, Chillán, Los Ángeles, Concepción, Temuco, Osorno, Valdivia, Coyhaique, entre otras). El panorama es más desfavorable aún si se considera que la mayor parte de las partículas provenientes de la combustión de biomasa corresponden a una fracción inferior a 2,5 micrómetros ($MP_{2,5}$) (CONAMA, 2002).

La mala calidad del combustible, debido al alto contenido de humedad de la leña, representa el mayor aporte a las emisiones de MP de este sector, seguido por la baja eficiencia de los calefactores existentes, asociado también a su mala operación (MMA 2011b). El uso de cocinas a leña también representa una importante fuente de emisiones contaminantes.

La preferencia de leña, como combustible para calefacción, se explica en gran medida por su bajo precio con respecto a otros sustitutos. Por otra parte, la comercialización informal de leña hace aún más barato su precio de venta. Se estima que la evasión tributaria en este mercado alcanzaría los 15 millones de dólares anuales.

Cuadro 10 Costo de calefacción por combustible

FUENTE DE ENERGÍA	PETRÓLEO	GAS LICUADO	ELECTRICIDAD	LEÑA
Unidad	(litro)	(kilogramo)	(kw-hr)	(m ³ s/hogar)
Poder calórico superior (kcal/unidad)	9.156	12.100	860	1.641.920
Rendimiento de transformación (%)	90	92	100	65
Costo unidad (\$)	623	956	106	24.000
Poder cal. aprovechable (kcal/unidad)	8.240	11.132	860	1.067.248
Unidades por giga caloría neta	121	90	1.163	0.9
Costo por giga caloría neta (\$)	75.603	85.839	123.256	22.488
Costo en relación a la leña	3,4	3,8	5,5	1,0

Fuente: Kausel y Vergara, 2003, CCTP.

Como se ha visto, el consumo de leña es la principal causa de la contaminación en las ciudades del sur de Chile. Las condiciones climáticas, culturales y socioeconómicas, asociadas a este consumo, complejizan la solución de este problema. En este contexto, se ha seleccionado un conjunto de medidas para reducir el impacto negativo sobre la salud de la población, que contemplan los siguientes ámbitos de acción:

- ▶ Calefactores menos contaminantes y más eficientes
- ▶ Disponibilidad de leña seca
- ▶ Viviendas con menor demanda de energía
- ▶ Sistemas alternativos de calefacción modernos (calefacción distrital)
- ▶ Sensibilización y educación de la comunidad

Cabe destacar que, además del impacto en la calidad del aire, **existen otros co-beneficios al implementar estas medidas, tales como la protección del bosque nativo, debido a la reducción de la demanda por leña; la potencial disminución del número de incendios provocados por calefactores en mal estado; el aumento de la recaudación tributaria, producto de la formalización de este mercado; viviendas de mejor calidad, ahorro en el consumo de combustibles y mejores trabajos, asociados a toda la cadena de producción y comercialización de combustibles de biomasa.**

Asimismo, se está trabajando en la promoción de nuevas tecnologías y sistemas de calefacción, entregando apoyo a las PYMES, tanto para innovación tecnológica como para desarrollo de nuevos productos. En este contexto, el Ministerio del Medio Ambiente, conjuntamente con el Ministerio de Energía, está llevando adelante una línea de investigación para el diseño y propuestas de medidas de mediano y largo plazo, orientadas a la introducción de sistemas térmicos eléctricos eficientes y amigables con el medio ambiente, cuyo objetivo es reducir la emisión de contaminantes locales y globales. Los principales productos esperados son: análisis de las tecnologías de calefacción distrital y propuesta para un proyecto piloto.

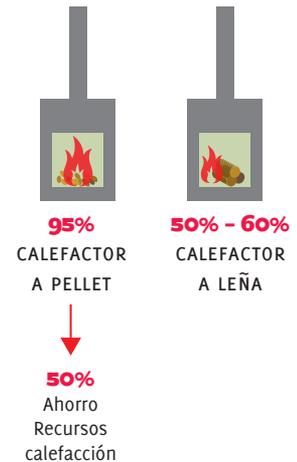


Recambio de calefactores 2011



Centro de acopio

NIVEL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA



Respecto a las cocinas a leña, de acuerdo con los datos obtenidos en los censos de 1992 y de 2002, el número de cocinas y sus horas de uso estaría disminuyendo progresivamente¹², constatándose que los hogares que utilizan este artefacto pasaron de 19% a 13%, en este periodo. Pese a ello, se trata de un problema que aún no ha sido abordado debido a la inexistencia de alternativas costo-efectivas. Si bien la norma de emisión para artefactos de uso residencial permitirá medir sus emisiones, éstas no deben cumplir con límites definidos.

^{12]} Esta reducción se explica por la preferencia en el uso de gas para cocinar y por el tamaño de las nuevas viviendas en zonas urbanas, donde principalmente para estratos socioeconómicos bajo y medio, se imposibilitaría la instalación y uso de la cocina a leña.

Calefactores a pellets

Un calefactor a pellets resuelve en forma simultánea tecnología, mala operación y calidad del combustible. Alcanza una eficiencia del 95% en la quema del combustible contra 50-60% de los calefactores a leña tradicionales en uso.

Un calefactor a pellets emite menos del 10% de lo que emite un calefactor a leña tradicional, dependiendo de las condiciones de operación.

Este tipo de equipos en viviendas, con una aislación adecuada, podría generar ahorro de recursos en calefacción de hasta un 30%. Desde este punto de vista, un recambio de calefactores a leña por a pellets podría ser ambiental y socialmente muy costo-eficiente.



Cuadro 11 Medidas para reducir emisiones por uso de leña

INSTRUMENTOS	ÁMBITOS	ACCIONES	PLAZOS	DECRETO/NORMA
Comando y control	Calefactores	Norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionen leña u otros combustibles de biomasa	2012	Decreto Supremo N° 39 del 11 de noviembre de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente.
	Leña	Normas técnicas de calidad de leña y derivados de madera.	Vigentes	NCH 2907-2005 NCH 3246-2011
		Fiscalización de la calidad de la leña, mediante ordenanzas municipales	2012-2014	-
	Vivienda	Reglamentación sobre aislamiento térmica	2007	Decreto N° 192 que modifica Decreto N° 47, de 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
Instrumentos económicos	Calefactores	Programa de recambio de calefactores	<p>2010: Recambio de 1.000 calefactores en Concepción Metropolitano</p> <p>2011: Programa piloto en Temuco y Padre las Casas (519) y en Coyhaique (300).</p> <p>2012: se espera recambiar 1.700 calefactores en Coyhaique, 3.000 en Temuco; y 500 en Osorno, Chillán y Valdivia. Se espera implementar un programa piloto de recambio de calefactores a pellets en conjunto con el Centro de Energía Renovables.</p>	-
	Leña	Fomento a PYMES para creación centros de acopio y secado de leña, (mediante concurso SERCOTEC)	<p>2011: 186 MM\$ en Maule, Araucanía, Biobío, Los Lagos, Aysén, para subsidios de 2 a 16 MM\$ cada uno.</p> <p>2012: Se dispone de un total de 140 MM\$.</p>	-

Continúa en página siguiente

INSTRUMENTOS	ÁMBITOS	ACCIONES	PLAZOS	DECRETO/NORMA
Instrumentos económicos	Vivienda	Subsidios para mejoramiento térmico de las viviendas, Programa de Protección al Patrimonio Familiar. Permite reacondicionar térmicamente viviendas sociales o cuya tasación no supere las 650 UF, pertenecientes a familias que cuentan con máximo 13.484 puntos en su Ficha de Protección Social	2007	Decreto Supremo N° 255 de 2006 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo
	Calefactores	Etiquetado de eficiencia y emisiones en calefactores	2013 (por exigencia de norma de emisión)	Decreto Supremo N° 39 del 11 de noviembre de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente.
	Leña	Sistema voluntario de certificación de leña	2009 (iniciativa del sector privado)	-
	Educación y sensibilización a la población	Líneas del Fondo de Protección Ambiental para educación sobre problemas de contaminación por quema de leña.	2013	-
		Campaña de capacitación respecto al uso de calefactores, consumo de leña seca y aislación.	2011-2014	-
Acuerdos voluntarios	Leña	Acuerdo de Producción Limpia entre comerciantes de leña de los principales centros de consumo del sur de Chile.	2010	-

Monitoreo de calidad del aire

El Programa de Aire Limpio también contempla la necesidad de implementar una mayor cobertura de monitoreo de $MP_{2,5}$ a nivel nacional, en concordancia con la entrada en vigencia de la norma de calidad primaria para este contaminante (2012).

Como se indica en el diagrama siguiente, las normas de calidad permiten fundamentar las políticas de control de emisiones. Sin embargo, tanto para la evaluación de tipo diagnóstico orientada a verificar los niveles de calidad del aire en relación con los estándares, como para el seguimiento de los impactos de las medidas de control sobre la calidad del aire, se requiere contar con sistemas de monitoreo de la calidad del aire.



Actualmente, Chile cuenta con tres redes públicas de monitoreo de la calidad del aire: la red MACAM de la Región Metropolitana con 11 estaciones automáticas, la red SIVICA orientada al monitoreo en 15 ciudades a lo largo de nuestro país y la red de monitoreo del Gran Concepción, que cuenta con ocho estaciones. Estas redes se concentran principalmente en la medición de MP_{10} .

A partir de 2012, la operación de las estaciones de monitoreo está a cargo del Ministerio del Medio Ambiente. Dada la relevancia del tema, se ha definido mejorar y aumentar la cantidad de equipos de monitoreo de calidad del aire, principalmente para $MP_{2,5}$ en ciudades de más de 100 mil habitantes con el fin de fortalecer este sistema, de acuerdo a las necesidades del país. Al mismo tiempo, uno de los objetivos prioritarios de este trabajo es permitir el acceso público en línea de la información registrada.

Junto con la medición del material particulado fino, se requiere avanzar en la caracterización de sus componentes. Los principales constituyentes del $MP_{2,5}$ son carbono orgánico, carbono elemental, sulfatos, nitratos, amonios, cloruro

de sodio o sal, materiales de origen geológico en forma de polvo superficial, metales y otros elementos traza. A través de la caracterización de sus componentes es posible identificar las fuentes emisoras responsables de su formación con mayor precisión¹³, lo que permite determinar las medidas de control más adecuadas a incorporar en los planes de descontaminación atmosféricos. La Figura 25 muestra los resultados de campañas de medición realizadas con un monitor ACSM (Aerosol Chemical Speciation Monitor), instalado en la estación USACH, que permite caracterizar en forma continua los componentes que forman el $MP_{2,5}$.

Esta estación tuvo un costo aproximado de cien mil dólares, financiado mediante un proyecto colaborativo entre la Universidad de Santiago de Chile, el Ministerio del Medio Ambiente, el Instituto Meteorológico Finlandés y el Centro Premio Nobel Mario Molina.

^{13]} Por ejemplo, el carbono orgánico y elemental es asociable a procesos de combustión, en tanto que sulfatos y nitratos se vinculan directamente a la conversión de emisiones de SO_x y NO_x en material particulado secundario. A su vez, compuestos, como el cloruro de sodio, están presentes en el material particulado, principalmente, de localidades cercanas al mar y tiene origen natural.

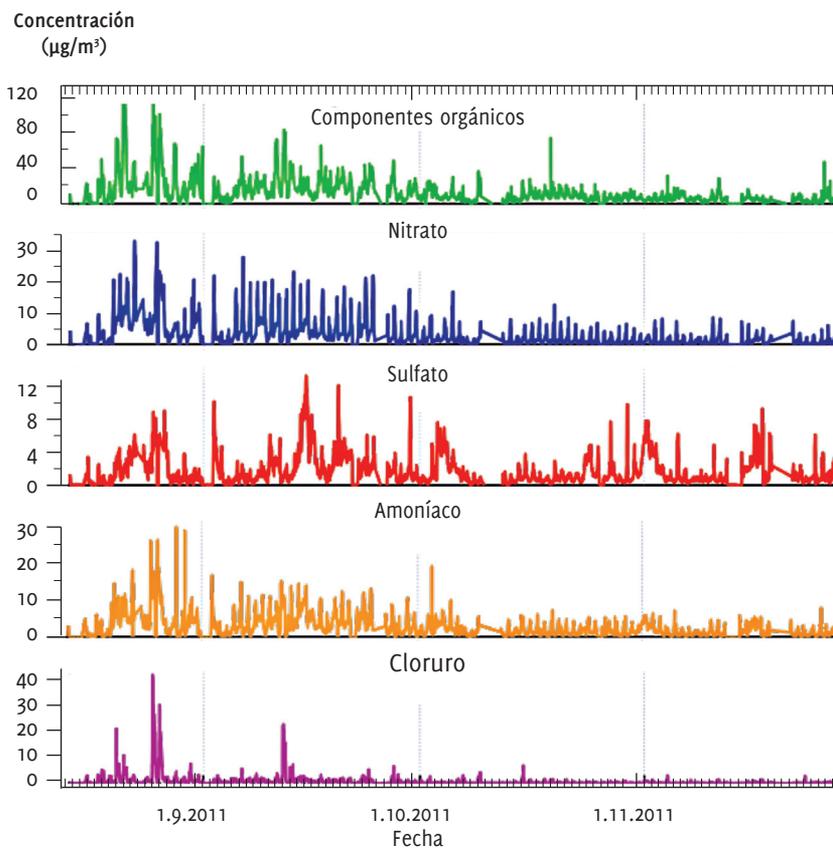


fig.
20

Mediciones
realizadas con un
monitor ACSM

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUERDO DE PRODUCCIÓN LIMPIA (APL)**, 2011. Zona Industrial Puchuncaví-Quintero. Valparaíso.
- BANCO CENTRAL DE CHILE**, 2011. *Cuentas Nacionales 2003-2010*. Santiago de Chile: Banco Central de Chile.
- CHILE AMBIENTE CORPORACIÓN**, 2009. Informe final análisis del potencial estratégico de la leña en la matriz energética chilena”. Santiago: Comisión Nacional de Energía.
- CHOW, J. C. Y WATSON, J. G.**, 1998. *Guideline on specified particulate monitoring prepared for the U.S. Environmental Protection Agency*. San Francisco, C.A.: Desert Research Institute, Reno N.V.
- COMISIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO)**, 2003. *Mercado del cobre y desarrollo sustentable en la minería, Capítulo 2: Análisis de inversiones y costos ambientales*. Santiago: Cochilco.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)**, 2002. *Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas*”. SANTIAGO: Universidad de Concepción.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)**, 2009a. *Antecedentes para el análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de la Norma de Calidad Primaria para $PM_{2,5}$ (AGIES)*. Preparado por DICTUC Santiago, Chile.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)**, 2009b. *Informe final: Análisis general del impacto económico y social de una norma de emisión para termoeléctricas*. Preparado por GEO Aire y KAS Ingeniería. Santiago: Conama.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)**, 2010. *Informe final relación de la norma de calidad primaria $MP_{2,5}$ con la norma de calidad primaria de MP_{10}* . Preparado por Luis Cifuentes. Santiago: Conama.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE)**, 1991-2008. *Balance Nacional de Energía (informes anuales)*. Disponible en: www.cne.cl, accesado en noviembre de 2011.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE)**, 2006. Informe final *Diagnóstico del mercado de la leña en Chile*. Santiago. CNE.
- COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD DE TRÁNSITO (CONASET)**, 2010.

- Evolución de siniestros de tránsito 1972-2010*. Disponible en: http://www.conaset.cl/conaset_web/contenido.php?id=73, accesado en diciembre de 2011.
- DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE (DICTUC)**, 2011a. *Valores recomendados a utilizar en la realización de un AGIES que incorpore un análisis costo beneficio - salud*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente.
- DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE (DICTUC)**, 2011b. *Elaboración de una matriz fuente receptor a nivel nacional que aporte como insumo a la valoración económica de la reducción del riesgo en salud asociado a la contaminación del aire*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente.
- DIRECCIÓN METEOROLOGÍA DE CHILE**, 2010. Disponible en: http://www.meteochile.cl/nino_nina/nino_nina_descripcion_nino.html
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)**, 2009. *Integrated science assessment for particulate matter: Final report*. Research Triangle Park, NC, US Government.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE)**, 2001-2010. *Anuario, Parque de vehículos en circulación*. Santiago: INE.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE)**, 1999 al 2009. *Informes anuales de generación eléctrica y cifras provisionales para el 2010*. Disponible en www.ine.cl, accesado en noviembre de 2011
- JORQUERA, H.**, 2007. *Apuntes de contaminación atmosférica*. Santiago: UC.
- KAUSEL Y VERGARA**, 2003. El uso de la leña como combustible en la IX Región: aspectos económicos. Capítulo 2. En: BURSHEL, H., HERNÁNDEZ A. y LOBOS, M. (eds.). *Leña: una fuente energética renovable para Chile*. Santiago: Editorial Universitaria, p. 41-54.
- KAVOURAS, I. G., KOUTRAKIS, P., CERECEDA-BALIC, F. y OYOLA, P.** 2001. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2,5} in five Chilean cities using factor analysis. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 51: 451-464.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA)**, 2011a. *Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de revisión de la norma de emisión de NO, HC y CO para el control del NO_x en vehículos en uso, de encendido por chispa (AGIES)*. Santiago: MMA.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA)**, 2011b. *Elaboración de una matriz fuente receptor a nivel nacional, que aporte como insumo a la valoración*

económica de la reducción del riesgo en salud asociado a la contaminación del aire. Santiago: MMA.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA), 2011c. Base de datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Disponible en <http://www.retc.cl>

ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO Y COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (OCDE Y CEPAL), 2005. *Evaluación sobre el Desempeño Ambiental.* Santiago: OCDE.

POPE, C. A., 3RD Y DOCKERY, D. W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6): 709-742.

SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO Y MINISTERIO DE SALUD (SAG Y MIN-SAL), 2010. *Evaluación de cumplimiento de Plan de Descontaminación Complejo Industrial Ventanas.* Santiago.

STERNER, THOMAS, 2002. *Instrumentos de política económica para el manejo del ambiente y los recursos naturales.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

TIETENBERG, T., 1998. Disclosure strategies for pollution control. *Environmental and Resource Economics*, 11, 587-602.

Anexos

Cuadro 1 Normas primarias de calidad del aire

CONTAMINANTE	DECRETO SUPREMO	NIVEL	UNIDAD	MÉTRICA	EXCEDENCIA
O ₃	112/2002	120	µg/m ³	Promedio móvil de 8 horas	Percentil 99
PM ₁₀	59/1998	50	µg/m ³	Media aritmética trianual	No se permite
PM ₁₀		150	µg/m ³	Media aritmética diaria	Percentil 98
PM _{2,5}	12/2011	20	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
PM _{2,5}		50	µg/m ³	Media aritmética diaria	Percentil 98
SO ₂	113/2002	80	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
SO ₂		250	µg/m ³	Media aritmética diaria	Percentil 99
NO ₂	114/2002	100	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
NO ₂		400	µg/m ³	Media aritmética horaria	Percentil 99
CO	115/2002	10.000	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas	Percentil 99
CO		30.000	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas	Percentil 99
Pb	136/2000				

Cuadro 2 Normas secundarias de calidad del aire

CONTAMINANTE	DECRETO SUPREMO		NIVEL	UNIDAD	MÉTRICA	EXCEDENCIA
PM SEDIMENTABLE	4/1992	Cuenca del río Huasco				
SO ₂	185/1991				

Cuadro 3 Efectos en salud contaminantes seleccionados

TIPO EFECTO	EFEECTO	EXPOSICIÓN	CONTAMINANTE	CAUSA	GRUPO EDAD	FUENTE
Mortalidad prematura	Mortalidad prematura	Aguda	MP _{2,5} , MP ₁₀	Todos	Todos	Cifuentes et al. (2000)
			O ₃	Todos	Todos	Bell et al. (2005)
		Crónica	MP _{2,5}	Cardiopulmonar	>30	Pope et al. (2004)
Acciones médicas	Admisiones hospitalarias	Aguda	MP _{2,5}	Ataques al corazón	65+	Ito (2003)
			MP _{2,5}	Disritmia	65+	Ito (2003)
			MP _{2,5}	Enfermedad isquémica al corazón	65+	Ito (2003)
			MP _{2,5}	Enfermedad crónica al pulmón	18-64	Moolgavkar (2000)
			MP _{2,5}	Enfermedad crónica al pulmón	65+	Ito (2003)
			MP _{2,5}	Neumonía	65+	Ito (2003)
			MP _{2,5}	Enfermedades cardíacas	18-64	Moolgavkar (2000)
			MP _{2,5}		65+	Moolgavkar (2003)
			MP _{2,5}	Asma	0-64	Sheppard (2003)
			O ₃	Enfermedades respiratorias	65+	Schwartz (1995)
	Visitas salas emergencia	Aguda	MP _{2,5}	Asma	0-17	Norris et al. (1999)
			O ₃	Asma	Todos	Peel et al. (2005)
Restricción actividad	Productividad perdida	Aguda	O ₃	Días de escuela perdidos	0-17	Gilliland et al. (2001)
			MP _{2,5}	Días de trabajo perdidos	18-64	Ostro (1987)
			MP _{2,5}	Días de actividad restringida	18-64	Ostro (1987)
			MP _{2,5}	Días de actividad restringida menor	18-64	Ostro and Rothchild (1989)
			O ₃	Días de actividad restringida menor	18-64	Ostro and Rothchild (1989)

Continúa en página siguiente

TIPO EFECTO	EFECTO	EXPOSICIÓN	CONTAMINANTE	CAUSA	GRUPO EDAD	FUENTE
Acciones médicas	Admisiones hospitalarias	Aguda	SO ₂	Enfermedades respiratorias	65+	Schwartz et al. (2003)
			NO ₂	Enfermedades respiratorias	65+	Fung et al. (2006)
	Visitas salas emergencia	Aguda	SO ₂	Asma	0-14	Wilson et al. (2007)
			SO ₂	Asma	65+	Wilson et al. (2007)
			NO ₂	Asma	75+	Villeneuve et al. (2007)
			NO ₂	Tos	7-14	Schwartz et al. (1994)
	Productividad perdida		NO ₂	Días de escuela perdidos	4-12	O'Connor et al. (2008)

Fuente: DICTUC, 2011.

Cuadro 4

Año de medición de calidad del aire utilizado de referencia en capítulo de estado

COMUNA	MP _{2,5}	MP ₁₀	NO ₂	SO ₂	O ₃
Andacollo	-	2009	-	-	-
Antofagasta	-	2009	-	2007	2009
Cabildo	-	2009	-	-	-
Calama	-	2008	-	2008	-
Calera	-	2009	2009	2008	2008
Catemu	-	2003	-	-	-
Cerrillos	2010	2009	2010	2009	2010
Cerro Navia	2010	2009	2010	2009	2010
Chiguayante	-	2009	-	-	-
Chillán	2010	2010	-	-	-
Codegua	-	2008	2010	2007	2007
Concón	2008	2009	2009	2009	2009
Copiapó	-	2009	-	2009	-

Continúa en página siguiente

COMUNA	MP _{2,5}	MP ₁₀	NO ₂	SO ₂	O ₃
Coronel	-	2009	2010	-	2010
Coyhaique	-	2009	-	-	-
Curicó	2008	2009	-	-	-
Diego de Almagro	-	2009	-	-	-
El Bosque	2010	2009	-	2010	2010
Freirina	-	-	-	2009	-
Hualpén	-	2010	2009	2010	-
Huasco	-	2009	-	2009	-
Independencia	2010	2009	2010	2010	2010
Iquique	-	-	-	2009	2009
La Cruz	-	2009	-	2008	2008
La Florida	2010	2009	2010	2010	2010
Las Condes	2010	2009	2010	2009	2010
Llayllay	-	-	2010	-	2008
Los Andes	2009	-	-	-	-
Los Angeles	-	2009	-	-	-
Los Vilos	-	2009	-	-	-
Machalí	-	2008	-	2008	-
Máfil	-	2009	2009	2009	2009
María Elena	-	2009	-	-	-
Mejillones	-	2009	2008	2008	-
Mostazal	-	2008	2009	2007	2007
Olivar	-	2009	-	-	-
Osorno	2010	2010	-	-	-
Padre las Casas	-	2009	-	-	-
Pica	-	2009	-	-	-

Continúa en página siguiente

COMUNA	MP _{2,5}	MP ₁₀	NO ₂	SO ₂	O ₃
Portezuelo	-	2009	-	-	-
Pozo Almonte	-	2009	-	-	-
Puchuncaví	-	2009	2010	2010	2010
Pudahuel	2010	2009	2010	2009	2010
Puente Alto	2010	2009	2010	2010	2010
Quilicura	2010	2009	2010*	2010	2010
Quillota	-	2009	2009	2008	2008
Quilpué	-	2009	-	-	-
Quintero	-	2009	2010	2009	-
Rancagua	2008	2010	2008	2009	2009
Rengo	-	2009	-	-	2009
Requinoa	-	-	2007	-	-
Salamanca	-	2009	-	-	-
San Fernando	-	2009	2010	-	2009
Santiago	2010	2009	2007	2010	2010
Talagante	2010	2009	2007	2010	2010
Talca	2008	2008	-	-	-
Talcahuano	-	2010	2009	2010	-
Taltal	-	-	2009*	-	2009
Temuco	2010	2010	2009	-	-
Teno	-	-	-	2009	-
Tierra Amarilla	-	2009	-	2009	-
Tocopilla	-	2009	2008	2009	-
Tomé	-	2009	-	-	-
Valdivia	2010	2009	-	-	-
Víña del Mar	2009	2009	2010	2009	2009

Fuente: Sistema Nacional e Información de Calidad del aire, 2011.

Nota: datos referenciales por interpolación de datos vacíos.

* El valor máximo se asignó al percentil 0,995, debido a posibles mediciones atípicas.

Cuadro 5 Emisión por región y tipo de fuente (Toneladas/año)

	AREALES	CALDERAS	FUNDICIONES	FUENTES MÓVILES	LEÑA	OTROS PROCESOS INDUSTRIALES	OTROS	TERMOELÉCTRICAS	TOTAL
SO_x									
Arica y Parinacota		645		11	2		336	2	995
Tarapacá		1.390		9	1		605	22.963	24.968
Antofagasta	10	3.208	164.543	34	0	732	4.022	73.117	245.667
Atacama		4	54.893	6	2		3.627	45.705	104.236
Coquimbo	24	1.033		26	13		2.255		3.351
Valparaíso	240	2.752	29.316	56	39	3.835	3.488	29.967	69.691
Metropolitana de Santiago	303	2.388		147	12	8.008	2.578	71	13.507
Libertador General Bernardo O'Higgins	106	3.611	162.305	16	73	184	1.429	91	167.815
Maule	32	4.690		23	106	168	905	30	5.953
Bíobío	2.290	22.554		110	336		5.410	15.010	45.709
Aracucanía	115	3.611		14	257	0	228	24	4.249
Los Ríos		1.989		5	127		499	19	2.640
Los Lagos	36	5.421		27	450		12.330	351	18.616
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	78	103		3	32		208	14	438
Magallanes y de la Antártica Chilena	3	95		8	42		800	0	948

Continúa en página siguiente

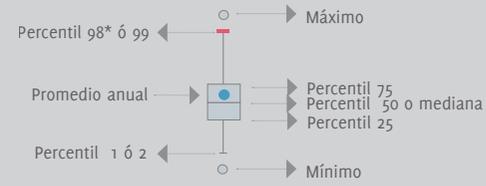
	AREALES	CALDERAS	FUNDICIONES	FUENTES MÓVILES	LEÑA	OTROS PROCESOS INDUSTRIALES	OTROS	TERMOELÉCTRICAS	TOTAL
Total									708.782
NO_x									
Arica y Parinacota		185		1.317	11		204	42	1.759
Tarapacá		531		2.083	6		10.968	5.270	18.858
Antofagasta	8	1.877	303	2.496	3	2.183	7.394	24.783	39.046
Atacama		2	75	650	14		10.028	9.231	20.001
Coquimbo		156		2.036	93		6.945		9.230
Valparaíso	2	2.940	195	5.923	274	1.156	7.352	7.706	25.547
Metropolitana de Santiago	1.792	4.350		31.345	85	4.090	6.389	2.008	50.058
Libertador General Bernardo O'Higgins	3.031	1.315	105	1.470	557	264	2.588	708	10.037
Maule	241	1.842		2.405	743	38	3.810	106	9.049
Bíobío		9.999		8.171	2.355		2.718	5.781	29.023
Aracucanía	419	2.049		1.540	1.801	0	761	38	6.609
Los Ríos		349		517	889		3.128	4	4.887
Los Lagos		694		2.109	3.152		9.011	1.494	16.460
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	471	49		254	223		3.884	258	5.139
Magallanes y de la Antártica Chilena		362		639	292		99	6	1.397

Continúa en página siguiente

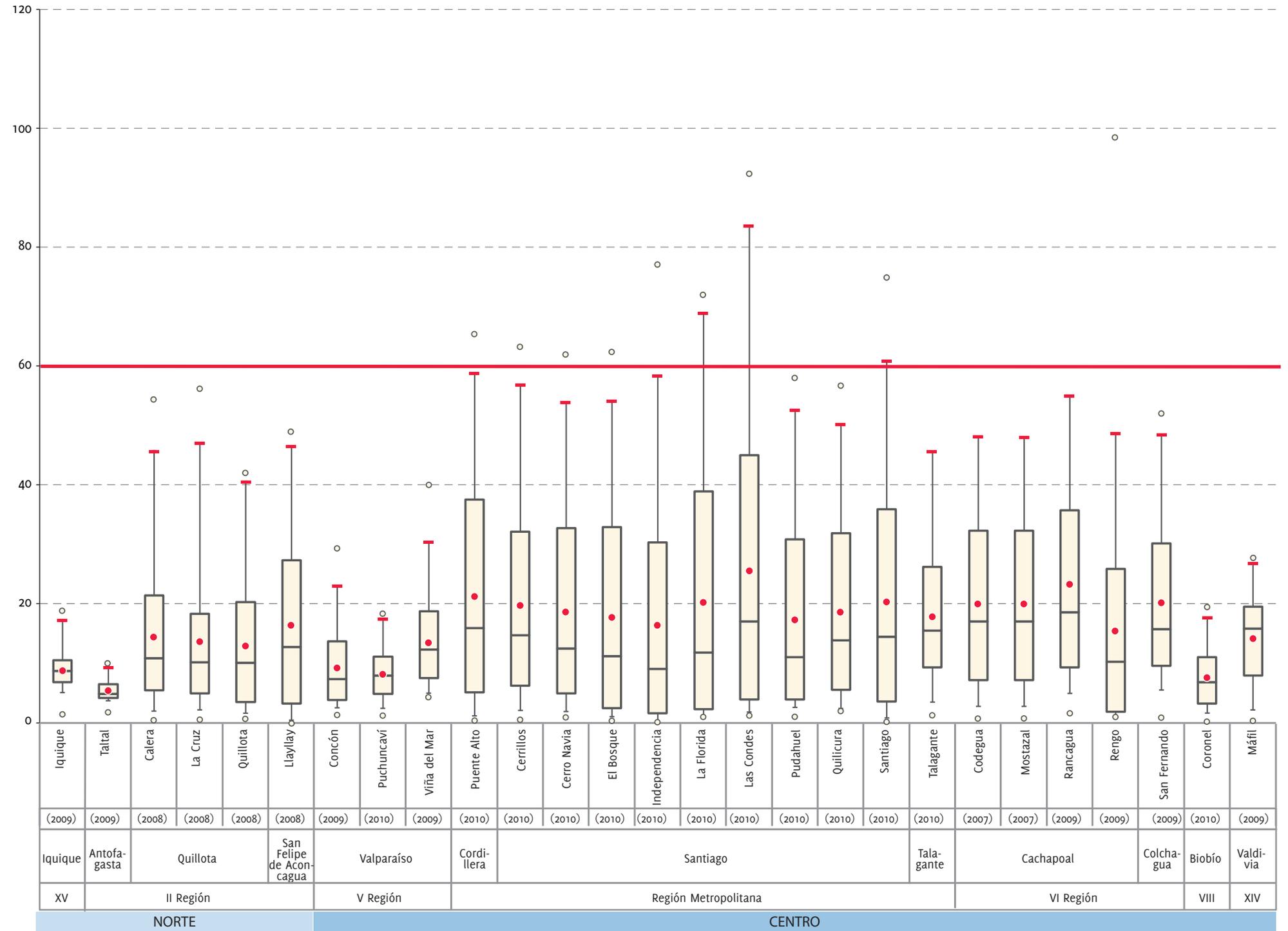
O₃ - media móvil
8 hrs [ppb]

fig.
1

Las comunas con mayores concentraciones de O₃ corresponden a Las Condes, seguida de La Florida y Santiago.



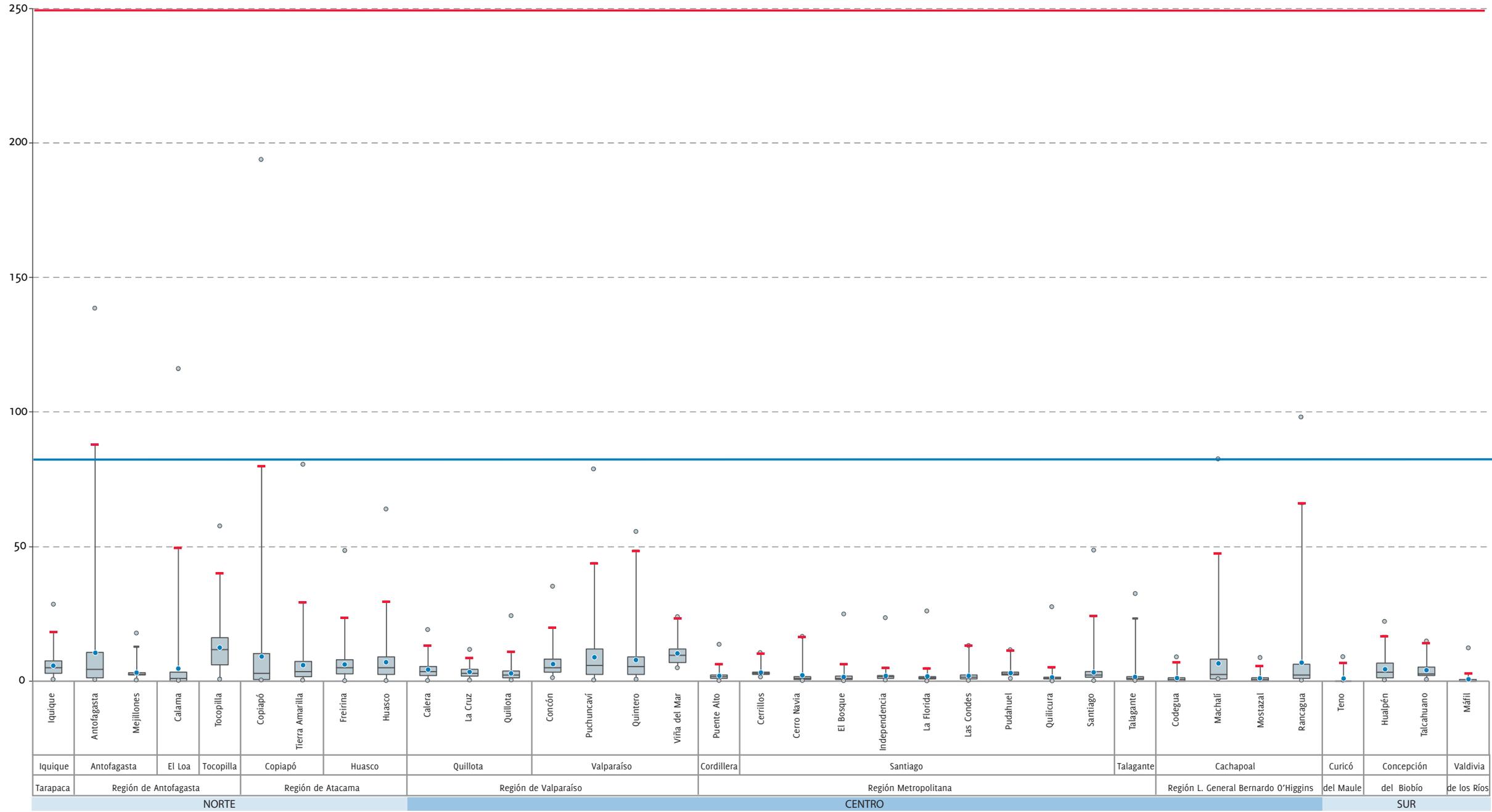
Años considerados en Anexo Cuadro 4.



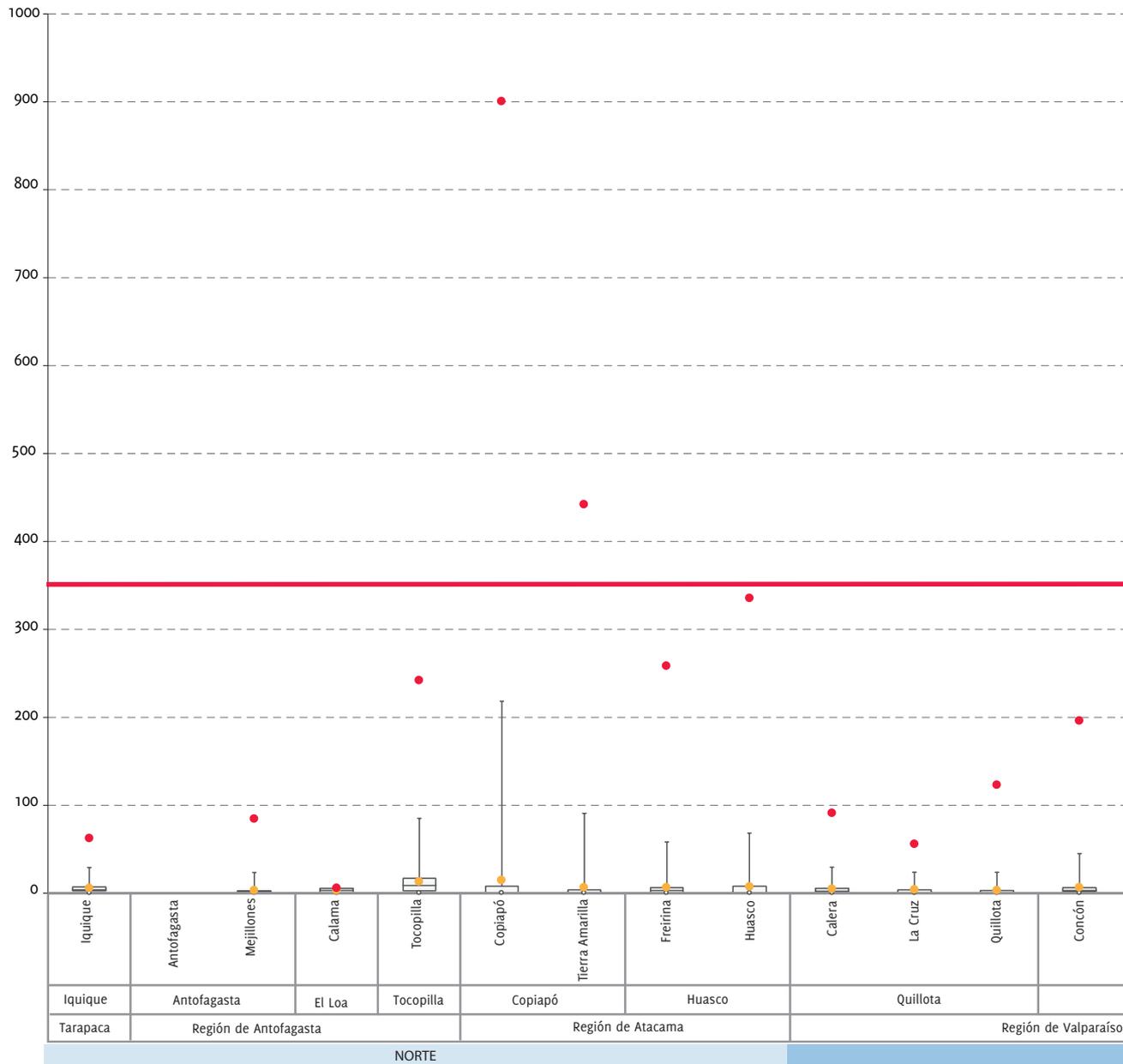
Por su parte, la concentración de SO₂ se ubica por debajo de los límites establecidos por la norma diaria y anual.

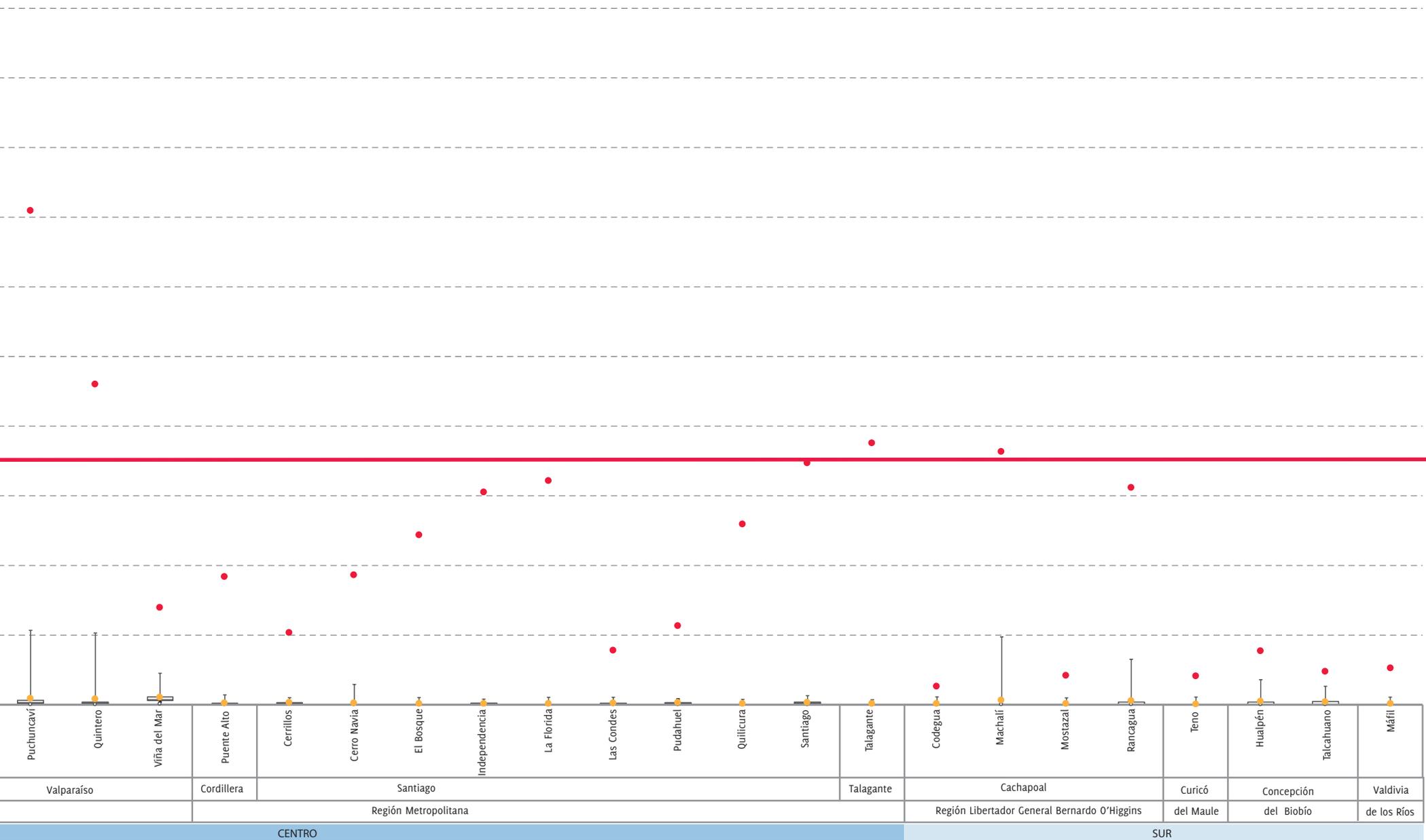
Años considerados en Anexo Cuadro 4.

fig. 2
SO₂ diario [µg/m³]



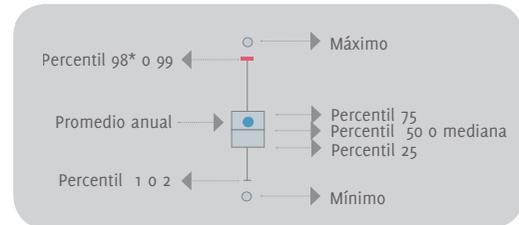






Sin embargo, se observan registros muy por sobre el límite horario establecido en la normativa europea, de un máximo de 350 microgramos por metro cúbico de SO₂.

fig. 3 SO₂ horario [µg/m³]

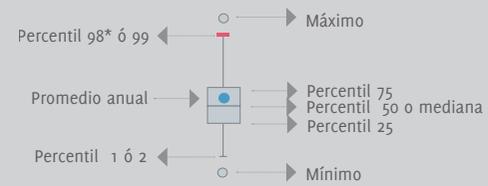


Años considerados en Anexo Cuadro 4.

NO₂ hora
[µg/m³]

fig.
4

Destaca la concentración de NO₂ en la provincia de Santiago, asociable a emisiones del sector transporte en la zona. Sin embargo, los niveles registrados se ubican por debajo de los límites establecidos por la norma.



Años considerados en Anexo Cuadro 4.

