
COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

PLAN DE PREVENCION Y DESCONTAMINACION ATMOSFÉRICA DE LA REGION METROPOLITANA



1° de julio de 1997

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

1. INTRODUCCIÓN.

La Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente establece que la autoridad debe desarrollar planes de descontaminación en áreas donde los niveles de contaminantes excedan sistemáticamente las normas ambientales, y planes de prevención donde dichas normas se encuentren en peligro de ser superadas. Para este objeto, la Región Metropolitana fue declarada como “Zona Saturada” para cuatro contaminantes atmosféricos (material particulado respirable, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono y ozono) y como “Zona Latente” para dióxido de nitrógeno, el 1 de Agosto de 1996. Desde entonces, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) inició la elaboración del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para la Región Metropolitana que aquí se presenta.

El PPDA tiene por objetivo cumplir con las normas de calidad de aire cuyo propósito principal es la protección de la salud de la población. Ésta se encuentra habitualmente expuesta a concentraciones de contaminantes que afectan su bienestar físico y su calidad de vida en general. Sin perjuicio de lo anterior, existen otros importantes beneficios asociados con la descontaminación de Santiago, tal como se describe en el capítulo 9.

El PPDA, en primer lugar, presenta los antecedentes necesarios para comprender las distintas causas del problema de contaminación atmosférica y un marco general en el cual deberán desarrollarse los esfuerzos de descontaminación de la región. Este marco está dado por el establecimiento de metas de reducción de emisiones para las distintas actividades y fuentes contaminantes, como también por la definición de los plazos en los cuales se alcanzarán estas metas.

En segundo lugar, el PPDA propone un conjunto de estrategias, líneas de acción y medidas que permitirán alcanzar las metas de reducción de emisiones en los plazos dados. Como parte importante del PPDA se incluye un Plan Operacional para enfrentar Episodios Críticos de Contaminación. Este plan operacional permite que durante el plazo necesario para que se alcancen los niveles señalados en las normas ambientales, la población esté protegida de los eventos de alta contaminación.

Por otra parte, el PPDA incorpora criterios que permiten asegurar la sustentabilidad del crecimiento económico de la región, una vez alcanzadas las metas de reducción de emisiones. Para ello se pretende dar, a través de instrumentos de gestión ambiental como el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), condiciones para el desarrollo de nuevas actividades y fuentes en la Región Metropolitana considerando la implementación de planes de compensación entre otros instrumentos.

Además, se incluye una serie de programas de educación y difusión ambiental cuyo objetivo es orientar las decisiones de los habitantes entregándoles herramientas para un adecuado conocimiento del problema de la contaminación y de las medidas tendientes a su solución. Es necesario destacar que estos programas consideran como prioritario la continuidad de la

participación ciudadana durante todo el período de implementación del Plan, y la incorporación del tema ambiental en la educación escolar.

Como complemento de los contenidos antes mencionados, el PPDA incluye los requisitos necesarios de fiscalización y seguimiento, así como las indicaciones para su actualización. Además, se incluye una estimación de los costos y beneficios que el cumplimiento de las metas significa.

En este plan se conjugan los principios que fundan la política ambiental, según lo establecido en el mensaje de la Ley 19.300. Estos principios son los siguientes:

1. **Principio participativo.** Este plan es fruto de un amplio proceso participativo que se desarrolló por diferentes vías. La primera de ellas es la coordinación de los diversos órganos con competencia ambiental en el sector público, incluyendo la participación activa de municipios, gobierno regional y ministerios y servicios de carácter nacional, agrupados en ocho subcomités técnicos, principales responsables de las medidas presentadas en el Anteproyecto de este plan. A eso cabe agregar más de 300 “líderes ambientales” representativos de organizaciones no gubernamentales, del sector privado, académicos, y servidores públicos que, tras un trabajo de seis meses en catorce talleres sobre diferentes temas, entregaron el documento final denominado “Santiago limpia el aire de Santiago”. Más de la mitad de esas proposiciones están recogidas en este plan y aquellas propuestas que no se han podido incorporar constituyen una verdadera “carta de navegación” para nuevos esfuerzos por descontaminar la Región Metropolitana, especialmente en el marco de las posteriores revisiones a que debe estar sujeto este plan en conformidad a lo establecido en el capítulo 10. Todo esto unido a un proceso de discusión pública que se tradujo en cientos de observaciones al Anteproyecto de este plan, incluyendo observaciones vía internet, realizadas por las más diversas instituciones y organizaciones.
2. **Principio preventivo.** Este plan tiene como uno de sus principales objetivos controlar los efectos adversos del crecimiento económico sostenido que ha experimentado el país, y en especial la Región Metropolitana, en los últimos años. De mantenerse esta tendencia, y en ausencia del presente plan, habrá aumentos significativos en las emisiones de los distintos contaminantes para el año 2005, según se explica en el capítulo 4 que describe la línea base. Este plan de prevención y descontaminación busca evitar un mayor deterioro en la calidad del aire y reducir los niveles de contaminación, hasta lograr el pleno cumplimiento de las normas ambientales.

Adicionalmente, el plan dedica un capítulo especial a las actividades y fuentes nuevas, aplicando los siguientes criterios generales: a) mayores exigencias tecnológicas para actividades y fuentes nuevas, y/o b) mayores exigencias de compensación para actividades y fuentes nuevas o modificaciones de las existentes.

También forma parte fundamental de este principio preventivo la educación, que busca cambiar hábitos y comportamientos, de manera de obtener que los habitantes de la región opten por medios menos contaminantes de transporte, y preserven el entorno natural que

permite recuperar la calidad del aire. En el mismo sentido apuntan las medidas de ordenamiento territorial, cuyo objetivo principal es lograr una ciudad más racionalmente distribuida, de modo de evitar la generación de viajes y reducir su longitud.

3. **Principio de la responsabilidad.** Este principio se traduce en la descripción de las actividades y fuentes emisoras en un inventario de emisiones, en el establecimiento de metas de reducción de emisiones para éstas, dentro de plazos determinados, como asimismo en el establecimiento de medidas específicas de reducción de sus emisiones, conforme a un cronograma de entrada en vigencia de estas medidas, con indicación de los responsables de su cumplimiento y la identificación de las autoridades a cargo de su fiscalización. La reducción de estas emisiones, de acuerdo a la Ley 19.300, debe ser proporcional entre las distintas actividades y fuentes. El principio de responsabilidad por daño ambiental se manifiesta adicionalmente en las sanciones que acarrea el incumplimiento tanto de las metas de reducción para las instancias definidas como responsables, como de las medidas específicas de descontaminación contenidas en el plan.
4. **Principio de “el que contamina paga”,** o en este caso, la internalización de los costos sociales provocados por la contaminación atmosférica, se realiza en el plan a través de la exigencia, para el responsable de cada actividad o fuente contaminante, de asumir los costos de cumplir con las metas establecidas.

Para corregir las externalidades se emplean diferentes instrumentos dependiendo del tipo de actividad o fuente. En el caso de fuentes industriales, el perfeccionamiento del sistema de compensaciones de material particulado, y la exigencia de compensaciones para gases, permite que los bienes y servicios progresivamente reflejen los costos reales de producción, incluyendo el daño social que genera la contaminación. Además, estos mecanismos de compensación constituyen un antecedente fundamental para la futura creación de un mercado de permisos de emisión, a partir de la dictación de la ley de permisos de emisión transables, según lo establecido en el artículo 48 de la Ley 19.300.

En el caso de los vehículos, este plan busca incentivar un uso más racional del automóvil por la vía de internalizar los costos reales asociados a su operación a través de medidas tales como la tarificación vial, disminución en la oferta de estacionamientos, redefinición de los valores de los permisos de circulación y de los precios relativos de los combustibles, tal como se señala en el capítulo 6.

Asimismo, la aplicación de este principio de quien contamina paga se logra a través de normas técnicas y/o de emisión que, en general, significan mayores costos para los emisores, pero se justifican ampliamente por sus beneficios para la comunidad, según se describe en el capítulo respectivo. Ejemplo de estas normas son las mayores exigencias para combustibles, estándares de emisiones gaseosas para fuentes industriales y normas de emisión para vehículos.

En aquellos casos en que no existe una responsabilidad claramente identificable para las actividades o fuentes contaminantes, como ocurre con el polvo natural en suspensión, el Estado asume los costos de reducción, mientras no existan mecanismos más adecuados.

5. **El principio de la eficiencia** dice relación con la necesidad de enfrentar el problema de la contaminación atmosférica de la manera más efectiva y al menor costo posible. Para diseñar un plan eficiente se analizaron los costos directos y la efectividad asociados a todas aquellas medidas cuantificables, obteniéndose diferentes valores por porcentaje de contribución en la reducción de contaminantes. Este método es un referente importante tanto en la selección de medidas que se incorporan al plan, como también en la determinación del cronograma de implementación de medidas, conforme a lo que se explica en el principio de gradualidad. De esta manera, medidas propuestas por el proceso participativo “Santiago limpia el aire de Santiago” o por los comités técnicos que elaboraron el plan han sido excluidas de éste plan por representar costos elevados en comparación a la efectividad de su aporte en la descontaminación de la región. Asimismo, otras medidas especialmente referidas a innovación tecnológica, como la incorporación de buses a gas natural, han sido postergadas en el inicio de su implementación en espera de un mayor desarrollo de este producto, lo cual redundaría en menores costos y, por ende, mayor costo-efectividad asociada.

La eficiencia en la descontaminación depende de los instrumentos utilizados. En general se ha optado por una combinación de regulaciones directas que aseguren estándares ambientales aceptables e instrumentos económicos o regulaciones indirectas que otorguen flexibilidad e incentivos a la reducción de emisiones. Dentro de las primeras se destaca la presencia de normas de emisión para industrias y vehículos, de composición de combustibles, de innovación tecnológica o requerimientos técnicos asociados a determinadas fuentes. Dentro de los instrumentos económicos incorporados al plan cabe destacar la revisión de impuestos específicos a combustibles, la revisión de los valores de permisos de circulación, la tarificación vial, el perfeccionamiento de mecanismos de compensación de emisiones de material particulado para fuentes industriales, estableciendo las bases para permitir compensaciones de gases en las emisiones industriales. Adicionalmente, el PPDA compromete el desarrollo de los estudios necesarios para incorporar, en el corto plazo, mecanismos de compensación que incentiven y garanticen reducciones en otros tipos de actividades o fuentes.

6. **El principio de gradualidad.** Es otro principio de la Ley de Bases de Medio Ambiente que se aplica en este plan y que se refleja en el establecimiento de metas progresivas de reducción de emisiones, con el objeto de evitar -para todos los contaminantes materia de este plan, pero en especial para el material particulado- la ocurrencia de emergencias en el futuro inmediato, preemergencias a partir del año 2005 y superación de norma de calidad del aire para el año 2011. Estos plazos han sido fijados conjugando la urgencia de descontaminar la región, la magnitud de las inversiones requeridas para ello y la experiencia de otras ciudades que han debido enfrentar problemas similares de contaminación atmosférica.

Plazos realistas que aumentan progresivamente las exigencias ambientales se han establecido también para aquellas medidas que demandan esfuerzos de inversión significativos tanto para

el sector público como privado. Entre ellos cabe señalar los esfuerzos progresivos de forestación y pavimentación, recuperación de emisiones evaporativas de hidrocarburos, reformulación de combustibles y renovación de los parques de transporte público y privado.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO.

2. DIAGNÓSTICO.

Los altos niveles de contaminación atmosférica que se han venido observando en Santiago y que provocan serios daños a la salud de la población obedecen a la conjunción de varios factores.

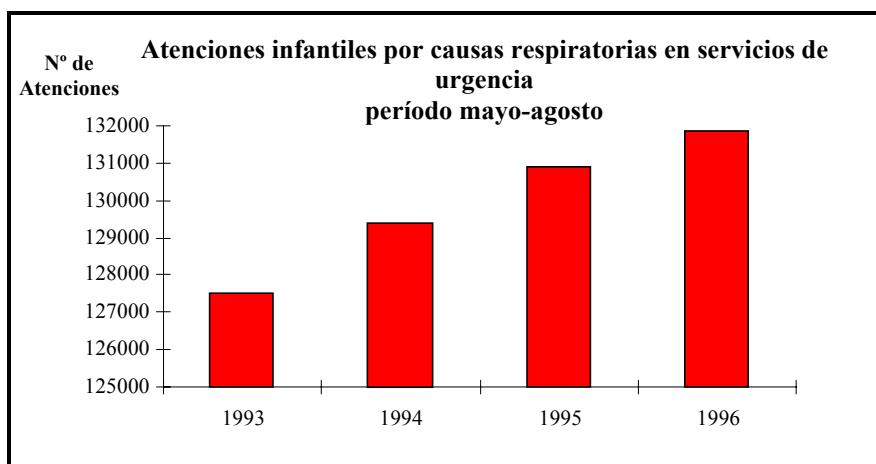
La creciente actividad económica de la región lleva aparejada elevados niveles de emisión de contaminantes. A ésta se suman condiciones urbanas propias de la ciudad de Santiago. La gran extensión y segregación funcional provocan un progresivo deterioro del transporte, con aumentos de las distancias recorridas, de los tiempos de viaje y de los flujos. Todo esto tiene un fuerte impacto en la contaminación de la atmósfera.

Por otro lado, las condiciones geográficas y meteorológicas de la región son particularmente desfavorables para una adecuada dispersión de contaminantes.

2.1 Antecedentes en salud.

La exposición a los contaminantes atmosféricos provoca diversos efectos en la salud. Éstos dependen de variados factores tales como el nivel de concentración, los tiempos de exposición, la acción sinérgica de dos o más contaminantes, efectos de largo plazo. También influye la susceptibilidad de la población expuesta, donde los grupos más afectados son los niños, ancianos y enfermos respiratorios crónicos. La figura muestra el número de atenciones infantiles por causas respiratorias en el período invernal. Parte importante de las afecciones que se traducen en atenciones médicas por síntomas respiratorios se asocian con exposiciones a niveles elevados de contaminación atmosférica.

Figura 2.1



A continuación se resumen los principales efectos en salud de los contaminantes normados. No se incluyen efectos sinérgicos. Para el caso de las PTS, la información se incluye como parte de los efectos del PM₁₀ (efectos menos severos).

2.1.1 Material Particulado Respirable: PM10

Los efectos en salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante corresponden a un aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, síntomas respiratorios severos e irritación de ojos y nariz.

El factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas, debido al grado de penetración y permanencia que ellas tengan en el sistema respiratorio. La mayoría de las partículas cuyo diámetro es mayor que $5\text{ }\mu\text{m}$ ¹ se depositan en las vías aéreas superiores y en la tráquea y los bronquios. Aquéllas cuyo diámetro es inferior tienen mayor probabilidad de depositarse en los bronquiólos y alvéolos a medida que su tamaño disminuye.

Una vez que las partículas se han depositado en el sistema respiratorio, su acción irritante es producto por una parte, de su composición química y su toxicidad; y por otra, de su facilidad de absorber y adsorber otras sustancias en su superficie, produciéndose un efecto sinérgico que incrementa su agresividad.

En cuanto a su composición química, la fracción gruesa ($2,5 - 10\text{ }\mu\text{m}$) del material particulado respirable está compuesta en su mayoría por partículas de pH básico producto de combustión no controlada y de procesos de desintegración mecánica. Las partículas de diámetro menor que $2,5\text{ }\mu\text{m}$ son, generalmente, ácidas e incluyen hollín y otros derivados de las emisiones vehiculares e industriales². Otras sustancias que pueden estar presentes en las partículas son el plomo, arsénico, berilio, cadmio, mercurio, sulfatos, nitratos e hidrocarburos policíclicos aromáticos.

Un ejemplo dramático del efecto sinérgico mencionado corresponde a los episodios registrados en Londres en la década del cincuenta, en los cuales la presencia simultánea de SO_2 y partículas en determinadas concentraciones provocaron numerosas muertes.

Dados los niveles existentes de este contaminante en la ciudad de Santiago, los principales beneficios en salud del PPDA serán producto de disminuciones en sus concentraciones, especialmente de su fracción fina, que es la más agresiva.

2.1.2 Monóxido de Carbono: CO

El monóxido de carbono es producto de la combustión incompleta de compuestos carbonados y algunos procesos industriales y biológicos. Los principales aportes resultan de las emisiones vehiculares y al interior del hogar, de estufas, cocinas, humo del cigarrillo y calefontes.

¹ Un μm equivale a una milésima de milímetro.

² La mayor parte de las emisiones de las fuentes industriales, domésticas y de transporte (presentadas en el inventario de emisiones del capítulo 3) tienen distribuciones de tamaño de particulado menor de $2,5\text{ }\mu\text{m}$. ([Ver Compilation of Air Pollutant Emission Factors - EPA/1995](#))

Reacciona con la hemoglobina en lugar del oxígeno, dada su afinidad notoriamente superior, para formar carboxihemoglobina. Afecta la salud interfiriendo con el transporte de dicho elemento (O_2) al corazón y otros músculos, y también al cerebro.

Por esto, individuos con enfermedades coronarias sufren un riesgo mayor frente a exposiciones de CO. Otros efectos en salud ligados a este contaminante son aumento de angina en pacientes susceptibles, disminución en las funciones neuroconductuales, efectos perinatales como menor peso del feto y retardo del desarrollo post-natal.

2.1.3 Dióxido de Nitrógeno: NO_2

Este compuesto es generado naturalmente por acción volcánica y bacteriana, y por tormentas eléctricas. Sus fuentes antropogénicas, residen principalmente en procesos de quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas metano, etc.) a altas temperaturas. Es un importante precursor de la formación de ozono. Al interior del hogar, sus principales fuentes son las cocinas a gas, las estufas de parafina y los hornos.

Su toxicidad se debe principalmente a sus propiedades oxidativas. Sus efectos en salud son: inducción de edema pulmonar, aumento de metabolismo antioxidante, daño celular en el pulmón, irritación y pérdida de mucosas.

2.1.4 Dióxido de azufre: SO_2

Este gas reacciona en la superficie de una amplia variedad de aerosoles, por lo que su acción se potencia ante la presencia de material particulado. La mayor parte de las emisiones de azufre se libera en forma de SO_2 , que es a su vez oxidado a SO_3 . Bajo la presencia de humedad, se forma ácido sulfúrico el cual está presente como aerosol o partículas sólidas, es decir, es un precursor en la formación de material particulado.

Es producto de la quema de combustibles fósiles, de la fundición de minerales que contienen azufre y otros procesos industriales. Al interior del hogar, los fuegos domésticos son una fuente importante.

Esta sustancia posee efectos irritantes sobre las vías respiratorias, dando lugar a broncoconstricción y bronquitis obstructiva. Tal como se mencionó en el acápite referente al material particulado, el efecto sinérgico de éste junto a otros contaminantes puede ser altamente agresivo.

2.1.5 Ozono: O_3

Este contaminante secundario es el principal componente del smog fotoquímico, y uno de los más fuertes agentes oxidantes, formado a partir de la acción de la luz solar de manera indirecta en los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en la tropósfera, y de la acción de la misma en las moléculas de ozono en la estratósfera. No existen fuentes apreciables de origen antropogénico en la atmósfera.

La toxicidad del ozono ocurre en un continuo, en el cual mayores concentraciones causan mayores efectos. Los síntomas que han sido reportados son: tos y dolor de cabeza, irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de tórax, incremento de mucosidad, estertores, cierre de las vías respiratorias, languidez, malestar y náuseas, y aumento en la incidencia de ataques asmáticos.

2.2 Antecedentes, identificación, delimitación y descripción de la Región Metropolitana.

2.2.1 Características geográficas de la Región Metropolitana.

La Región Metropolitana³ comprende una superficie de 15.554,5 km² que, comparada con la superficie del país (excluyendo el Territorio Antártico), representa el 2,1% del total nacional, constituyéndose en la región más pequeña. De la superficie mencionada, un 85,7% corresponde a terrenos montañosos, el 3,3% a espacios urbanizados y aproximadamente el 11% a superficie destinada a la agricultura.

Es una región mediterránea, que se ubica entre la cordillera de Los Andes y la de La Costa. Predominan los relieves montañosos que encierran hacia el centro de la región una amplia y extensa cuenca aérea⁴, la de Santiago. Por el norte, el cordón montañoso de Chacabuco la separa de la región de Valparaíso y por el sur, los cerros de Angostura y Chada -en Paine- constituyen el límite con la Sexta Región.

La cuenca de Santiago está limitada al oriente por los faldeos precordilleranos de la cordillera de Los Andes, con cerros que superan los 3.200 m (Cerro Ramón). Por el oeste, la cordillera de La Costa alcanza alturas sobre 2.000 m (Cerro Roble Alto), siendo interrumpida por el valle del río Maipo, que abre la cuenca hacia el sector sudoeste. Más al sur, el macizo de Alhué (Cerro Cantillana) supera los 2.000 m de altitud. Las dimensiones aproximadas de la cuenca son 80 km en sentido N-S y 35 km en sentido E-W.

Los cerros que rodean la planicie central imponen fuertes restricciones a la circulación de vientos, y por ende, a la renovación del aire al interior de la cuenca. Por ello, en épocas de estabilidad atmosférica los contaminantes quedan atrapados dentro de la cuenca que alberga a la ciudad de Santiago.

2.2.2 Características meteorológicas de la Región Metropolitana.

Los factores climáticos condicionan la dispersión de contaminantes atmosféricos. En el caso de la Región Metropolitana, estos factores son muy desfavorables para dicho propósito. Esto implica que para iguales condiciones de emisión comparada con otras urbes a nivel mundial, las concentraciones de contaminantes atmosféricos resultantes son mayores.

³ La Región Metropolitana se localiza entre los 32°56' y los 34°17' latitud S, y entre los 69°47' y los 71°43' longitud W. Se divide administrativamente en 6 provincias y 52 comunas.

⁴ Concepto de “air basin” o cuenca aérea: parcela de aire definida por condiciones meteorológicas y geográficas similares.

El clima de la zona central de Chile se encuentra modulado por la alternancia de dos factores principales de gran escala: el anticiclón del Pacífico y los sistemas de bajas presiones (sistemas frontales). A lo anterior se suman otros factores de menor escala, tales como las depresiones costeras, brisa mar-continente y brisas valle-montaña.

2.2.2.1 Anticiclón del Pacífico y sistemas frontales.

El Anticiclón del Pacífico es un sistema de altas presiones que da origen a un clima estable, cálido y soleado en verano; y estable, frío y despejado en invierno.

Durante los meses más fríos, los sistemas frontales generan situaciones esporádicas de mal tiempo sobre la zona central generándose precipitaciones que se registran en forma ocasional e irregular. La aparición de estos sistemas frontales en la Región Metropolitana permite la limpieza temporal de la atmósfera. Una vez que las condiciones meteorológicas mejoran, la concentración de contaminantes aumenta rápidamente.

2.2.2.2 Inversiones térmicas en Santiago⁵.

De acuerdo a los antecedentes disponibles, Santiago presenta una inversión térmica de subsidencia prácticamente durante todo el año. Esto implica que sobre la zona central de Chile existe un verdadero "techo" o capa, que impide la mezcla del aire inferior con el superior. En estas situaciones las partículas de aire que tratan de ascender desde la capa inferior encuentran aire más cálido que impide su ascenso.

En forma adicional y principalmente durante otoño e invierno, se genera una capa de inversión causada por el enfriamiento de la superficie terrestre. Esta inversión térmica radiativa de superficie normalmente se debilita durante el transcurso del día, por el efecto de la radiación solar.

Cuando los dos tipos de inversiones se presentan simultáneamente durante los meses de otoño-invierno, existe una capa de mezcla reducida y una atmósfera muy estable en la superficie. Esta condición es muy favorable para que se generen episodios de alta contaminación atmosférica.

2.2.2.3 Depresiones costeras.

Las depresiones costeras corresponden a sistemas de bajas presiones localizadas, que se generan por el calentamiento de la masa terrestre. De acuerdo a estudios especializados, la mayoría de los eventos de contaminación severa en la cuenca de Santiago se deben a la presencia de estos sistemas.

⁵ La inversión térmica de subsidencia sobre la zona central de Chile se origina por el predominio de altas presiones. Consiste en un aumento de la temperatura del aire con la altura entre aproximadamente los 700 y 1.000 msnm., en invierno. Esta condición impide el ascenso del aire y, consiguientemente, la dispersión vertical de contaminantes.

2.2.2.4 Patrón de vientos en la Región Metropolitana.

El patrón de vientos superficiales que predomina en la región en todas las estaciones del año, aunque con distintas magnitudes, corresponde al sistema de brisas valle-montaña. Durante el día los vientos soplan desde el Sur-Oeste. Durante la noche la situación se revierte. De esa manera, durante el día y especialmente en las tardes de verano, se aprecia una contribución importante de los valles vecinos ubicados al poniente y surponiente. En el sector sur de la Región Metropolitana, las condiciones de viento imperantes muestran un transporte de contaminantes desde la vecina Cuenca del Cachapoal.

Al norte de la Región, y hasta los límites del Cordón de Chacabuco, durante el día, se aprecian vientos con componente sur, que transportan hacia el norte parte de los contaminantes emitidos en la ciudad. Por la noche el flujo se revierte y se dirige hacia la ciudad, favoreciendo la acumulación de contaminantes.

Las condiciones meteorológicas de verano logran ventilar la cuenca (mayor velocidad del viento y menor potencia de la inversión térmica). Durante el invierno (menores velocidades de viento y menor insolación) no se logra el efecto anterior, lo que redundará en una recirculación de los contaminantes en la cuenca y aumento de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en días sucesivos.

Con el fin de efectuar un estudio de las trayectorias seguidas por un volumen de aire en la Región Metropolitana, CONAMA R.M. implementó un modelo de campos de vientos.

Las conclusiones obtenidas con aplicaciones de este modelo refuerzan el análisis realizado para el patrón de vientos en la R.M.:

- En general, el transporte más importante de masas de aire ocurre en horas de la tarde, cuando la rapidez del viento es mayor. El transporte durante horas de la noche y de la madrugada es significativamente menor
- Se observa durante la noche, sobre todo en el valle de Santiago, una tendencia a la recirculación de las masas de aire. Esto es consistente con el hecho de que las mediciones de calidad de aire en Santiago indican efectos de acumulación de contaminantes de un día para otro.
- Se aprecia una marcada tendencia a que masas de aire se muevan desde los valles ubicados al oeste y suroeste de la región, así como desde Angostura de Paine, hacia la ciudad.

Por último es importante destacar que el análisis de la información meteorológica indica que existe transporte de masas de aire desde los distintos valles que rodean la Cuenca de Santiago (Melipilla, Curacaví, María Pinto y Mallarauco), y que por lo tanto fuentes emisoras ubicadas en estas áreas afectarán la calidad del aire en la cuenca.

Estos antecedentes permitieron definir que el área a declarar como saturada CO, PTS, PM10, y O₃; y latente por NO₂, fuera la Región Metropolitana y no un área menor dentro de la región.

2.2.3 Condiciones urbanas de la Región Metropolitana y de la ciudad de Santiago.

Las particulares condiciones urbanas de la Región Metropolitana, caracterizadas por una alta concentración poblacional y de actividades principalmente en la ciudad de Santiago, constituyen un factor determinante para las condiciones de contaminación, especialmente del aire.

2.2.3.1 Población y densidad.

La Región Metropolitana es, según el último censo poblacional (1992), la más poblada y densa del país, concentrando el 39 % de la población total de la nación.

En 1992 tenía una densidad de 332 hab/km², mientras que el promedio nacional era de 17,9 hab/km². La población total en la Región Metropolitana era en 1992, de 5.336.478 habitantes.

El principal desarrollo urbano de la región se ha efectuado en la provincia de Santiago y las comunas de San Bernardo y Puente Alto⁶, las que en conjunto concentran aproximadamente el 91% de la población regional.

En el período 1982-1992, el crecimiento demográfico de la Región Metropolitana (19,7%), estuvo por sobre el promedio del crecimiento nacional. No se debe desconocer, sin embargo, que a pesar de haberse advertido un cambio en la tendencia de crecimiento de la ciudad de Santiago en los últimos años, en el sentido de presentar un crecimiento menos acelerado que otras ciudades del país, su gran tamaño implica que bajos crecimientos porcentuales, resultan en aumentos importantes de población. Por último, es necesario destacar que el conjunto de la R.M. está creciendo más rápido que el Gran Santiago, lo que indica, o bien la expansión del área urbana, o bien la formación de otros centros urbanos de relevancia dentro de la región.

2.2.3.2 Expansión horizontal y segregación socio-espacial y funcional.

Asociado al crecimiento poblacional se ha producido una extrema expansión horizontal de la ciudad de Santiago, principalmente hacia la periferia sur y sudoeste. El área de la ciudad conformada por el casco urbano (zonas consolidadas y zonas parcialmente construidas), aumentó de 55 mil hectáreas en 1990 a 65 mil hectáreas en 1995.

La ciudad de Santiago, que se caracteriza por una extremada segregación socio-espacial y funcional, presenta problemas estructurales que dificultan su funcionamiento. Desde el punto de vista del aumento de las emisiones, la expansión horizontal y la segregación funcional de la ciudad generan efectos negativos sobre el sistema de transporte, lo que incide fuertemente en el nivel de contaminación atmosférica, como se verá más adelante.

Existen otros efectos ambientales negativos asociados a la expansión de la ciudad tales como disminución de la cubierta vegetal, impermeabilización del suelo y cambios en las tasas de reposición de las napas freáticas, pérdida de bosque nativo y erosión.

⁶ La provincia de Santiago y las comunas de San Bernardo y Puente Alto conforman el Gran Santiago.

2.2.3.3 Transporte urbano.

De acuerdo a la última encuesta Origen-Destino de viajes⁷, en el Gran Santiago se realizan 8,4 millones de viajes diarios, los que muestran una fuerte dependencia de modos de transporte motorizados. Del total de viajes, un 17 % se efectúa en transporte privado (automóviles y taxis), el 53% en transporte público, el 20% corresponde a caminata y el resto (10%) a otros modos, tales como bicicleta y motos.

Los estudios desarrollados por SECTRA⁸, muestran que una gran parte de estos viajes se generan por motivo de estudio, concentrándose fuertemente entre las 7:30 y las 8:00 horas, y en menor cantidad entre las 13:00 y las 14:30 horas. A su vez, otra parte importante de los viajes generados tienen como motivo el trabajo, los que se concentran entre las 6:30 y las 9:30 horas y entre las 17:30 y las 21:00 horas. Ambos propósitos constituyen, en todas las comunas, más del 60% de los viajes generados, llegando por ejemplo, a un 86,9% en la comuna de La Pintana. La concentración horaria de ellos produce uno de los principales problemas de la ciudad, la congestión.

En cuanto a la distribución, los viajes interzonales constituyen la mayor proporción de los viajes generados por las áreas periféricas, siendo el centro su destino. En particular, una gran cantidad se genera en las zonas oriente y sur. Esto indica una fuerte dependencia con la zona centro, que puede ser explicada por la gran concentración de servicios que ofrece para el conjunto de la ciudad: comercio, finanzas, fuentes laborales y otros.

Los aspectos socioeconómicos de la ciudad, por otro lado, son un factor relevante en la definición del comportamiento de los viajes. En efecto, las zonas de la ciudad con mayores recursos (oriente y sur oriente) concentran la mayor posesión de automóviles y, en consecuencia, generan la mayoría de los viajes en este medio de transporte. Sólo la zona oriente genera el 48% de los viajes en transporte privado, con una tasa de motorización de 260 veh/1000 hab., la más alta de la región. En el resto de las zonas, sin embargo, los viajes en transporte público (bus, taxibus, taxi colectivo y metro) constituyen el modo más importante. A pesar de ello y de los esfuerzos por mejorar el servicio en los últimos 5 años (gracias a la licitación de recorridos), su calidad en términos de seguridad, comodidad y confiabilidad sigue siendo insuficiente para sostener las necesidades actuales y futuras de la demanda.

En consecuencia, los principales problemas del transporte en la ciudad lo constituyen la concentración horaria y espacial de los viajes, y la mala calidad del servicio de transporte público, lo que fomenta la posesión y uso del automóvil particular. Esta situación se ve claramente reflejada en los altos niveles de congestión, con sus correspondientes externalidades: contaminación del aire, ruido y accidentes.

De estas externalidades, la contaminación del aire es la de mayor impacto en la Región Metropolitana. En efecto, la participación del transporte motorizado de superficie en las

⁷ Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Santiago, 1991. SECTRA.

⁸ Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación en Infraestructura de Transporte.

emisiones de contaminantes, alcanza niveles del 92% en CO, 7% en PM10 y 71% en NOx y 46% de COV, según el inventario de emisiones de 1997 (ver capítulo 3).

Del análisis de la participación del transporte público y privado en la emisión de contaminantes medidos en gramos por pasajero por kilómetro (gr./pasajero-km) se concluye que el transporte privado genera una mayor contaminación por viaje realizado que el transporte público, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: gr./pasajero-kilómetro transportado

Contaminante	TPrivado	TPúblico
PM10 ⁹	0.73	0.55
CO	8.52	0.22
NOx	0.98	0.24
COV	0.81	0.06
SO2	0.08	0.04

2.2.3.4 Parque vehicular en la Región Metropolitana

El análisis del parque vehicular en la Región Metropolitana demuestra que ha existido un sostenido incremento en el período 1990 - 1994, constituyendo ésta otra causa importante del aumento en las emisiones de contaminantes atmosféricos.

El parque de vehículos particulares creció un 32% en el período 1990 - 1994 (de 419.888 a 553.597). Esto provoca un fuerte aumento de las emisiones de contaminantes por pasajero transportado. El parque de buses y taxibuses, en cambio, ha disminuido en un 8% en el mismo período (de 15.037 a 13.770).

Cabe destacar dentro del crecimiento del parque particular, el aumento del número de taxis que asciende a un 60% (de 21.425 a 34.065). Estos vehículos circulan en promedio 4 a 6 veces más que los automóviles particulares, en términos de km por vehículo/año.

Si se analiza el parque de vehículos livianos en la Región Metropolitana por categorías, se puede destacar que dominan los autos particulares, los que constituyen más de un 60% del total. Le siguen las camionetas con aproximadamente un 15%, los furgones con menos del 10% y los taxis con aproximadamente un 5% del total.

En relación al crecimiento del parque privado, el análisis del período 1985 - 1996 muestra un incremento del 64% (383.187 vehículos en 1985 y 627.452 en 1996). Suponiendo una tendencia similar, se estima que el parque tendría un incremento equivalente en el período 1997 - 2010.

⁹ Considera sólo las emisiones provenientes de los tubos de escape de los vehículos.

2.2.3.5 La actividad industrial en la Región Metropolitana.

La actividad industrial en la Región metropolitana también ha crecido notoriamente en los últimos años. Ello ha significado un aumento en el consumo de combustibles, tal como se aprecia en la siguiente tabla, donde se muestran los consumos en los años 1990 y 1994 de los combustibles más utilizados por el sector industrial.

Tabla 2.2: Variación en consumo de combustibles 1990-1994

Combustible	1990	1994	% aumento
Petróleo N° 5 (m ³)	64.407	79.581	23,6%
Petróleo N° 6 (m ³)	75.582	105.922	40,1%
GLP (m ³)	7.042	23.561	234%.

Los distintos tipos de fuentes han sido registrados a través de las estadísticas del Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas (PROCEFF¹⁰) del Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana. La Tabla 2.3 muestra un resumen de estas estadísticas para las cuatro categorías identificadas en la región.

Tabla 2.3: Tipos de fuentes y emisiones de PTS registradas a agosto de 1996

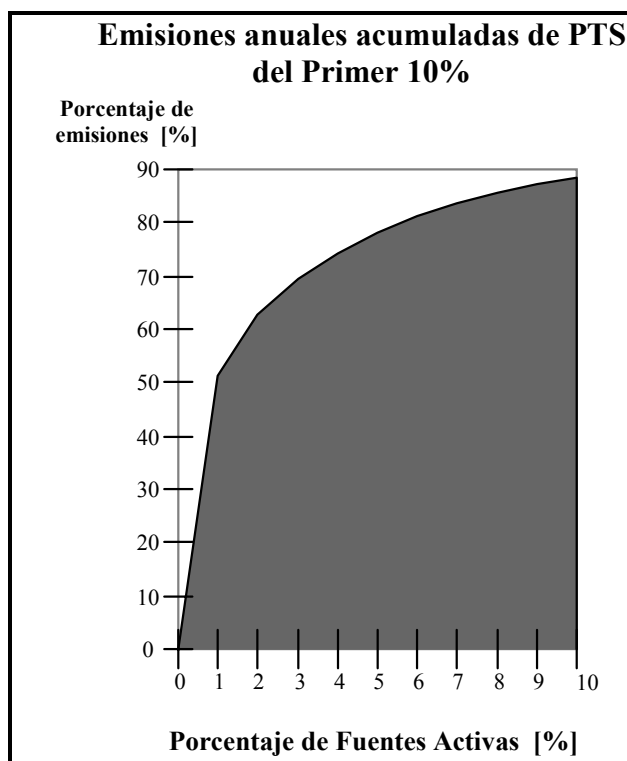
Tipo de fuente	N°	% fuentes	% emisiones PTS
Calderas de calefacción	1364	32%	5%
Calderas industriales	1106	25%	39%
Panaderías	1013	23%	1%
Procesos industriales	865	20%.	55%

Fuente: PROCEFF.

Tal como se observa en la tabla anterior, existen importantes diferencias entre el número de fuentes activas y el volumen de emisiones de PTS registrado por PROCEFF. Tal aspecto puede observarse en la Figura 2.2, donde cerca del 90% del total de las emisiones anuales de PTS son producidas por sólo el 10% del total de fuentes activas de la región.

¹⁰ Programa de Control de Fuentes Fijas del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente

Figura 2.2



2.3 Antecedentes que fundaron la declaración de Zona Saturada y Latente de la Región Metropolitana.

La Región Metropolitana fue declarada, mediante D.S. No. 131/96 del 12 de junio de 1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Zona Saturada para cuatro contaminantes atmosféricos: PTS, PM10, CO y O₃; y Zona Latente para el NO₂.

La declaración de Zona Saturada y Latente para la Región Metropolitana se basa en los niveles de contaminación atmosférica alcanzados. Las normas de calidad de aire han sido repetidas veces sobrepasadas en los casos de partículas totales en suspensión (norma diaria), material particulado respirable (norma diaria), monóxido de carbono (norma promedio de ocho horas) y ozono (norma horaria). Para el caso del dióxido de nitrógeno, los valores medidos se encuentran entre un 80% y un 100% de la norma (promedio anual).

A continuación se describe la calidad del aire, entregando antecedentes respecto de los contaminantes presentes en la región.

2.3.1 Calidad del aire en la Región Metropolitana

Los antecedentes utilizados para determinar la calidad del aire de la Región Metropolitana provienen del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA), recopilados

fundamentalmente a través de la Red de Monitoreo de Contaminantes Atmosféricos (Red MACAM) y la Red de Vigilancia¹¹.

El análisis de la calidad de aire se realiza en función de las normas de calidad del aire primarias vigentes en Chile, que se detallan en la Tabla 2.4.

Cuando una o más normas de calidad ambiental son sobrepasadas, se da origen a una situación de saturación. Cuando los niveles de concentraciones están entre un 80 y un 100 % de la norma de calidad ambiental, la situación es de latencia.¹²

Tabla 2.4: Normas de calidad del aire primarias vigentes en Chile.

Contaminante	Norma	Unidad ¹³	Tipo de Norma
Partículas en suspensión (PTS)	75	µg/m ³	Media geométrica anual
	260	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas. (*)
Material Particulado respirable (PM10)	150	µg/m ³	Media aritmética diaria
Dióxido de azufre (SO₂)	80	µg/m ³	Media aritmética anual.
	365	µg/m ³	Media aritmética diaria.
Oxidantes Fotoquímicos (O₃)	160	µg/m ³	Media aritmética horaria. (*)
Monóxido de Carbono (CO)	40	mg/m ³	Media aritmética horaria. (*)
	10	mg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas. (*)
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	100	µg/m ³	Media aritmética anual.

(*) Valor que no puede ser sobrepasado más de una vez por año.

Fuente: Res. 1.215/78 del Ministerio de Salud, D.S. 185/91 del Ministerio de Minería.

¹¹ La red MACAM es una red automática de monitoreo de contaminantes atmosféricos, conectada en línea a una estación central de procesamiento de datos. Es utilizada como fuente de información para obtener los índices de calidad de aire referidos a gases y partículas de la ciudad de Santiago. Cada una de las estaciones de la red MACAM se utiliza para el cálculo de índice de calidad del aire según zonas. La estación A corresponde a zona Central Centro, la B a zona Central Oriente, la F a zona Norte, la D a zona Central Sur y la estación M a zona Tabancura. En ellas se miden los contaminantes CO, PM10, O₃, SO₂, NO y NO_x (NO + NO₂) y variables meteorológicas (temperatura, velocidad del viento y humedad).

La Red de Vigilancia es operada con equipos manuales, con una frecuencia de medición de una vez cada 4 días. Comprende 8 estaciones que miden PTS, SO₂, NO₂ y polvo sedimentable

¹² Artículo 2t y 2u, Ley 19.300.

¹³ Un µgr. corresponde a una milésima de miligramo.

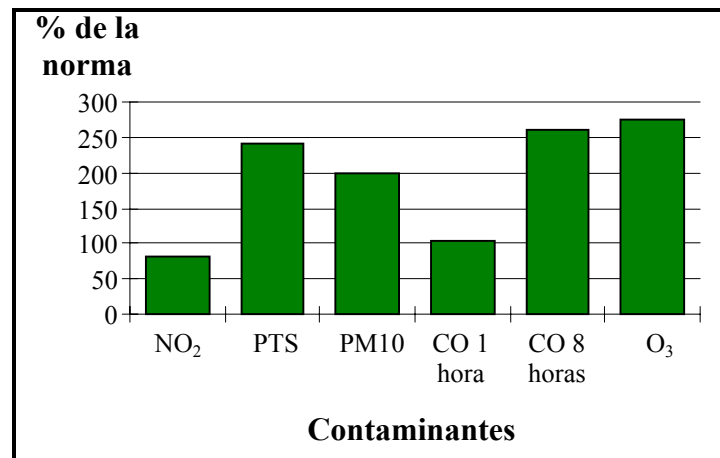
2.3.1.1 Análisis de los principales contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana

En la Región Metropolitana, en los últimos años, se han venido superando sistemáticamente las normas para PTS, PM10, CO y O₃, habiéndose registrado para el NO₂ niveles de latencia. También se registra contaminación por dióxido de azufre (SO₂), aunque no en los niveles de los contaminantes citados más arriba. Sin embargo, la participación del SO₂ en la formación del material particulado secundario justifica su control, tal como se explica en el capítulo 5.

Los datos de mediciones de calidad ambiental que fundaron la Declaración de Zona Saturada, y que se detallan a continuación, son los niveles de contaminación atmosférica para el año 1995 y las conclusiones de las tendencias registradas para cada contaminante, en el período de 1992 a 1995.

La Figura 2.3 muestra los valores máximos alcanzados por los distintos contaminantes mencionados. Estos se grafican como porcentaje de la norma que representan (100 equivale a la norma). Del análisis del cuadro se desprende que el O₃ representa el caso más crítico con una superación de casi tres veces la norma. De los contaminantes graficados, el NO₂ se presenta como el menos crítico. Sin embargo alcanza casi un 90% de la norma que le corresponde, lo que indica su estado de latencia.

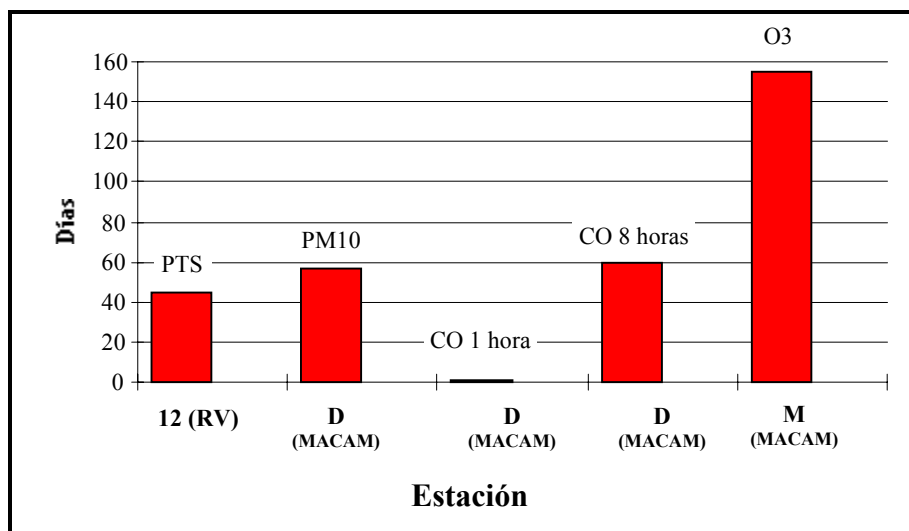
Figura2.3: Porcentaje de norma, valores máximos para cada caso.



Fuente: CONAMA R.M.

La Figura 2.4 muestra el número de días por año en que se presentan violaciones a la norma, en la estación de las redes de monitoreo más desfavorable por contaminante.

Figura 2.4: Días de superación de norma.



Fuente: CONAMA R.M.

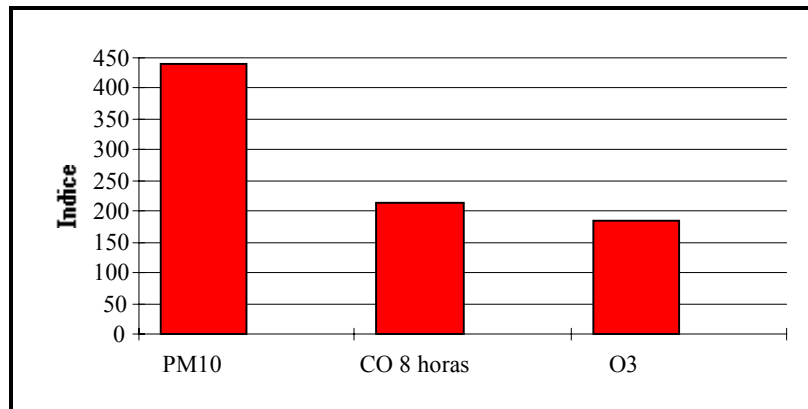
El PTS superó en más de 40 días la norma (sobre 91 días de muestra, i.e, un 44% de los días muestreados, lo que equivaldría a más de 160 días por año). El PM10 y el CO (promedio de 8 horas) en alrededor de 60 días y el O₃ en más de 150 días por año.

Si se comparan los niveles de contaminación con los índices de calidad de aire¹⁴, ICAP (Índice de Calidad de Aire de Partículas) e ICAG (Índice de Calidad de Aire de Gases) donde 100 representa la norma, 300 nivel crítico (preemergencia) y 500 nivel peligroso (emergencia), se aprecia que la situación mas preocupante desde el punto de vista de la salud la representa la contaminación por material particulado respirable¹⁵. La Figura 2.5 grafica estos índices, destacándose el valor alcanzado por el PM10 en la estación D (Parque O'Higgins).

¹⁴ La función de los índices consiste en hacer comparables en términos de efectos en la salud las concentraciones de distintos contaminantes para diferentes intervalos de tiempo. Por ejemplo, el índice 100 equivale a la norma y corresponde al nivel de concentraciones para el cual se comienzan a observar los primeros efectos en salud en la población más susceptible. Para el PM10 este índice equivale a 150 µg/m³ promedio de 24 hrs, mientras que para el ozono equivale a 160 µg/m³ promedio de una hora.

¹⁵ Estos índices no consideran el efecto sinérgico de dos o más contaminantes, como puede ser el caso del PM10 y el CO

Figura 2.5: Índices de calidad de aire, valores máximos.



Fuente: CONAMA R.M.

2.3.1.2 Descripción de la situación de saturación, o latencia, por contaminante.

Se describen a continuación los niveles registrados por contaminante durante el año 1995 y un análisis de las tendencias para PM10, CO, O₃, NO₂ y SO₂ en el periodo 1992 a 1995.

Es importante destacar que algunos de estos contaminantes, como el ozono (O₃) y una parte del material particulado (PM10) corresponden a contaminantes secundarios, es decir, no son emitidos directamente al ambiente, sino que son producidos por la reacción de varios elementos presentes en la atmósfera, conocidos como precursores.

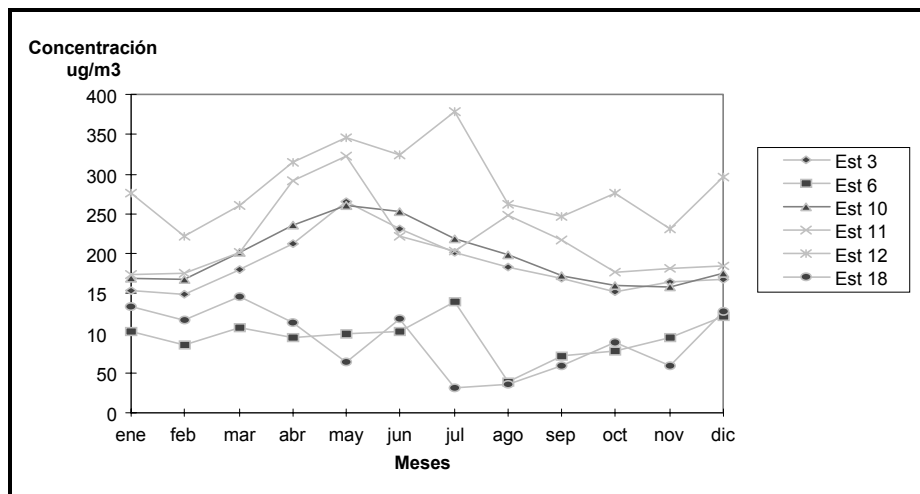
PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN: PTS

Las partículas totales en suspensión se componen de una fracción respirable (PM10), con partículas de diámetro aerodinámico hasta 10 µm y de una fracción de partículas cuyo diámetro está comprendido entre 10 y 50 µm. Por su mayor tamaño, esta última fracción tiene efectos menos severos que otros contaminantes, para la salud humana.

El promedio anual de PTS en 1995 superó la norma de 75 µg/m³, en todas las estaciones. La estación de la red de vigilancia ubicada en la comuna de Pudahuel presentó el promedio anual más alto (286.3 µg/m³). Esto corresponde a un 381.7% de la norma anual siendo además superior a la norma diaria.

La Figura 2.6 muestra las concentraciones promedio mensuales por estación y por mes para el año 1995.

Figura 2.6: Concentraciones promedio mensuales de PTS por estación/mes, 1995.



Obs.: Datos de estaciones de la Red de Vigilancia.

Fuente: CONAMA R.M.

Se observa que durante los meses de abril a junio, prácticamente todas las estaciones superan la norma diaria para este contaminante. La situación es crítica en la Estación 12, ubicada en la comuna de Pudahuel, donde se verifican superaciones de la norma diaria en todos los meses del año.

MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE: PM₁₀.

El material particulado respirable corresponde a la fracción del material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 μm . Por su tamaño, estas partículas son capaces de ingresar al sistema respiratorio. Mientras menor sea su diámetro, mayor será el potencial de generar daño en la salud humana. En efecto, las partículas de diámetro menor a 2.5 μm penetran hasta los alvéolos pulmonares e ingresan directamente al torrente sanguíneo.

La fracción gruesa del material particulado, es decir aquella parte del PM₁₀ cuyo diámetro está comprendido entre 2.5 μm y 10 μm , en atmósferas urbanas como Santiago, está compuesto principalmente por polvo resuspendido, el cual es una mezcla de partículas de origen natural con otras de origen antropogénico¹⁶ que han sido recirculadas.

En el caso de la fracción fina del material particulado, es decir partículas de diámetro menor a 2.5 μm , encontramos mayoritariamente partículas de origen antropogénico ya sea emitidas directamente por procesos de combustión (vehículos diesel, calderas y otros procesos industriales), o como resultado de reacciones de otros contaminantes gaseosos que son emitidos mayoritariamente por vehículos a gasolina y por las fuentes ya mencionadas. Este último es el denominado material particulado secundario.

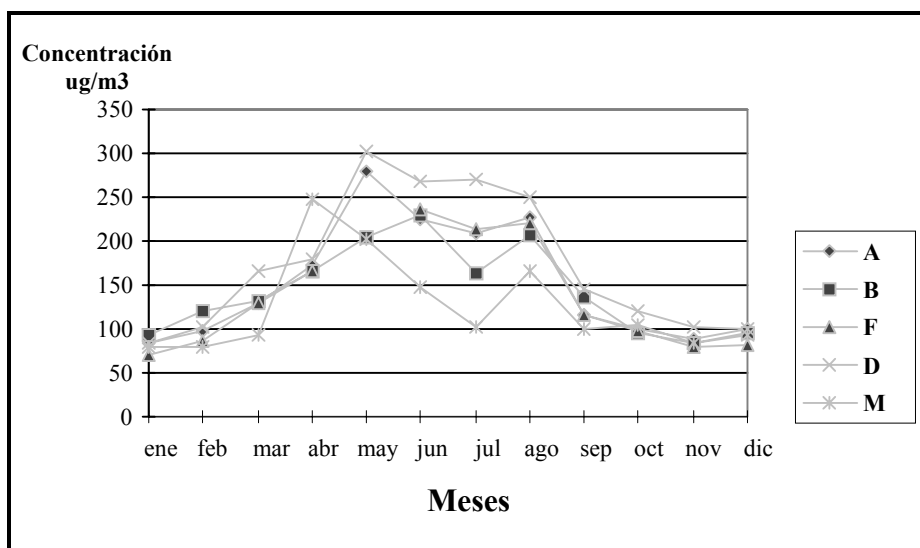
¹⁶ Los contaminantes de origen antropogénico son aquellos que resultan de las actividades humanas, y los contaminantes de origen natural se producen independientemente de ellas.

En cuanto a la presencia del material particulado respirable en el aire de la región, a continuación se presenta algunos aspectos de su comportamiento.

Las concentraciones de PM10 medidas indican que los máximos anuales superan la norma en todas las estaciones.

La Figura 2.7 muestra los máximos diarios por mes para cada estación. La norma se supera en todas las estaciones, en los meses de invierno. La estación D es la que presenta la mayor cantidad de meses con máximos sobre norma, así como el valor más alto ($302 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En las estaciones A, B y F la situación es similar. En el sector oriente (Estación M) la situación es levemente mejor, aunque de igual modo, la norma es superada en los meses de invierno.

Figura 2.7: Concentraciones máximas mensuales de PM10. 1995.



Obs.: Datos de estaciones de monitoreo de la Red MACAM.
Fuente: CONAMA R.M.

MONÓXIDO DE CARBONO: CO

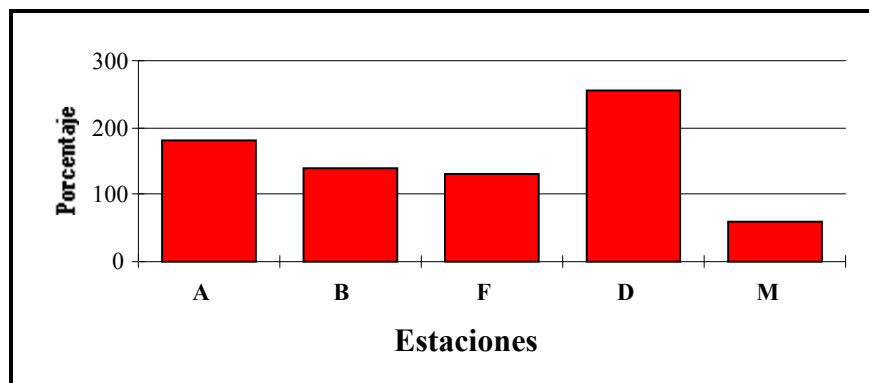
El monóxido de carbono es un contaminante gaseoso que se produce por la combustión incompleta de hidrocarburos. En las ciudades, su fuente principal son los vehículos a gasolina.

La norma horaria se superó sólo una vez durante el año 1995, en la estación D (Parque O'Higgins).

La norma para promedios móviles de 8 horas, en cambio, se superó frecuentemente en las estaciones de medición A, B, F y D (ver nota al pie n° 11). La estación D es la que registra las mayores concentraciones. En dicha estación la norma para promedios móviles de 8 horas fue superada un total de 60 días.

La Figura 2.8 muestra el promedio móvil de 8 horas máximo, para 1995, en cada estación de monitoreo, como porcentaje de la norma.

Figura 2.8: CO. Valores máximos, promedios móviles de 8 horas por estación como porcentaje de norma. 1995.



Obs.: Datos de estaciones de monitoreo de la Red MACAM.

Fuente: CONAMA R.M.

OZONO: O₃

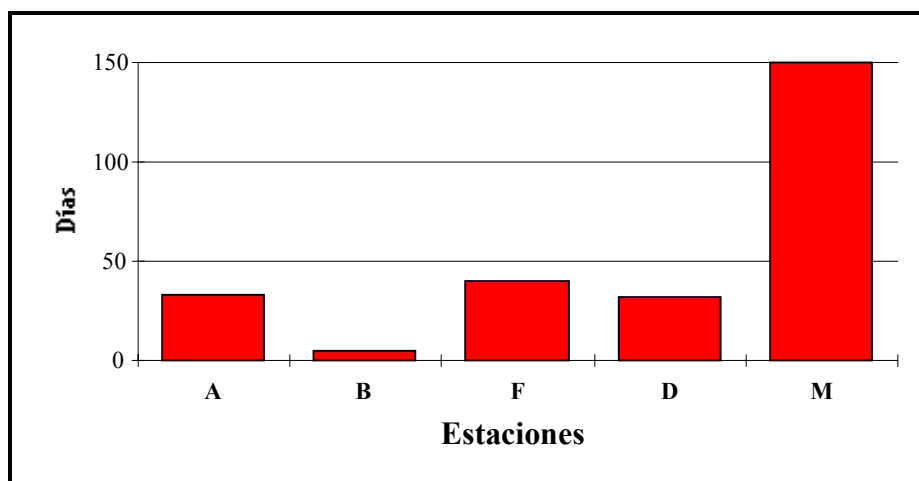
El ozono es un contaminante secundario de origen fotoquímico que se forma por la reacción entre óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, en presencia de radiación solar. Los procesos fotoquímicos asociados a la formación de ozono son altamente complejos y dependen de la proporción relativa entre óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, y de los distintos tipos de hidrocarburos presentes en las reacciones. Por ello, para entender el problema de contaminación por ozono se requieren estudios específicos de la actividad fotoquímica propia de cada región, incluyendo análisis de los patrones de viento predominantes.

La estación que registra las mayores concentraciones y mayor frecuencia de excedencia de norma es la estación M (Las Condes), ubicada a 15 kilómetros del centro, en la dirección de los vientos predominantes. En ella se registran superaciones de la norma en casi la mitad de los días del año.

En esta estación se alcanzó durante 1995 la máxima concentración para este contaminante con un valor de 439 µg/m³, lo que corresponde a 274% de la norma. Los valores máximos se observan durante los meses de primavera y verano, sobre todo durante diciembre, en que la norma fue superada 26 días. En esta estación, además la norma horaria fue superada, al menos en una ocasión, durante cada uno de los meses del año. La norma también se superó en cada mes, salvo julio, en la estación D. Esto ocurre porque basta un día asoleado, aún en invierno, para que ocurra el proceso fotoquímico que genera el ozono, a partir de los contaminantes primarios emitidos a la atmósfera de Santiago.

La Figura 2.9 muestra el número de días que se superó la norma en cada una de las estaciones de la red MACAM. Se puede observar que la mayor frecuencia de superación ocurre en la estación M (Las Condes) y que la menor frecuencia se observa en la estación B (Providencia).

Figura 2.9: Ozono. Días sobre norma, 1995.



Obs.: Datos de estaciones de monitoreo de la Red MACAM.

Fuente: CONAMA R.M.

Para complementar la información de la Red MACAM, se realizó una campaña extraordinaria de medición de ozono y dióxido de nitrógeno. Esta campaña se efectuó entre diciembre de 1995 y marzo de 1996, en 3 lugares: La Dehesa, Huechuraba y Buin. Las mediciones realizadas mostraron que los niveles de ozono son muy altos en la Dehesa donde se supera la norma prácticamente todos los días de verano y con un valor máximo de $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que equivale a un 225% de la norma. En Huechuraba se observan superaciones de norma pero de menor magnitud que en La Dehesa. Finalmente, en Buin, se observan valores bajos, de acuerdo a lo señalado por la literatura para zonas libres de contaminación antropogénica (EPA, 1986), con máximos cercanos a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO: NO_2

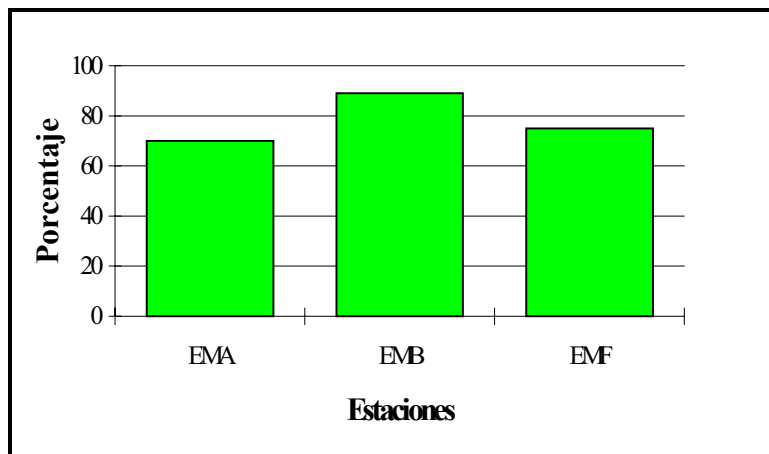
La mayoría de los óxidos de nitrógeno generados por el hombre se producen por la oxidación del nitrógeno atmosférico presente en los procesos de combustión a altas temperaturas. El contaminante generado en forma primaria es el NO , parte del cual rápidamente se oxida a NO_2 . Ambos óxidos liberados a la atmósfera participan activamente en un conjunto de reacciones fotoquímicas que, en presencia de hidrocarburos reactivos, generan ozono. Además, en su proceso de transformación, este contaminante forma nitratos, es decir, sales que pueden ser transportadas en el material particulado respirable y que en presencia de humedad forman ácidos. Estos ácidos son una parte importante del material particulado secundario, que tiene efectos nocivos en la salud.

En cuanto a la presencia de este contaminante en el aire de la región, a continuación se presentan algunos aspectos de su comportamiento.

El NO_2 fue medido en las estaciones A, B y F durante 1995. Las concentraciones en todas ellas son similares y están levemente bajo la norma. La estación B es la que registró el mayor promedio anual, de $88.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que corresponde aproximadamente a un 89% de la norma.

En la Figura 2.10 se muestra los promedios anuales como porcentaje de la norma.

Figura 2.10: NO₂. Porcentaje de norma anual. 1995.



Obs.: Datos de estaciones de monitoreo de la Red MACAM.
Fuente: CONAMA R.M.

Las mayores concentraciones de NO₂ se registran en invierno, cuando las condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión son más adversas.

Al analizar la evolución de las concentraciones para este contaminante en los últimos años, se observa una tendencia al alza, de modo que los valores máximos han ido aumentando sostenidamente desde 1992 a la fecha.

DIÓXIDO DE AZUFRE: SO₂

Este contaminante es el resultado de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón, etc.), de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este contaminante forma sulfatos, es decir, sales que pueden ser transportadas en el material particulado respirable (PM10) y que en presencia de humedad forman ácidos. Estos ácidos son una parte importante del material particulado secundario. Tanto la exposición a sulfatos como a los ácidos derivados del SO₂, es de extremo riesgo para la salud debido a que ingresan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias.

Los monitoreos de SO₂ durante 1995 consideran mediciones en las estaciones A, B y F. De ellas, la estación que presentó el mayor promedio anual fue la estación A, con un valor de 35.2 µg/m³, correspondiente a un 44% de la norma.

Estos resultados, sin embargo, son insuficientes para concluir que la Región Metropolitana no presenta problemas por excedencia de SO₂¹⁷.

¹⁷ En efecto, un estudio realizado en 1994 por CONAMA R.M. con los muestreos de la estación A (Gotuzzo), y una cobertura del 91% de los datos, muestra que el promedio anual alcanza los 52,6 µg/m³ de SO₂, valor inferior a la norma chilena, pero que excede la norma de Suecia, la de la Unión Europea y la recomendación de la OMS. Además, con respecto a la norma horaria de la Unión Europea y OMS, también se obtuvieron valores en exceso. Por último, con respecto a la norma de 24 hrs. (promedio aritmético) no se superó la norma chilena. Sin embargo, se produjeron superaciones de la normativa extranjera.

Los días de superación de norma se muestran en la siguiente tabla:

Días de superación de norma de SO₂ (24 horas), según distintas normas extranjeras.

PAÍS	SUECIA	UNIÓN EUROPEA	CALIFORNIA	RUSIA
Nº de días	35	17	10	8

Los resultados en concentraciones podrían ser incluso mayores si se midiera este contaminante en las cercanías de las áreas industriales (como referencia, ver “Monitoreo y Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Región Metropolitana de Santiago de Chile”. Oyola-Romero, 1991).