

Contaminación Atmosférica en la Ciudad de Santiago

© Roberto Corvalán 1998
rocorval@cec.uchile.cl

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda el problema de la contaminación atmosférica de las grandes ciudades, primero como un problema global. Se identifica la magnitud de los efectos que sobre la población de las grandes ciudades tiene la contaminación, presentándose una estimación de la proporción de la población afectada. Se describen los principales contaminantes atmosféricos y sus efectos sobre la salud humana y la forma en que se deben definir las estrategias gestión ambiental.

En segundo lugar se analiza el problema de contaminación de la ciudad de Santiago. Se presenta un diagnóstico que identifica la distribución de responsabilidades sobre las emisiones de los diversos contaminantes presentes en la atmósfera y luego se evalúan, a nivel global, los resultados de la aplicación del primer Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana.

En último término, se presentan los lineamientos generales del nuevo Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana, recientemente aprobado por el presente Gobierno.

ABSTRACT

In this paper, atmospheric pollution in large cities is first analyzed as a global problem. The pollution effects over greatly populated cities are identified and the affected world population fraction is estimated. Most important atmospheric pollutants and their effect on human health are also described.

Secondly, the environmental problems of the city of Santiago are analyzed. A general diagnostic is introduced and the emission's contribution by source are presented. Thus, the outputs of the application from

the first Metropolitan Region Pollutant Prevention Plan is evaluated.

Finally, a general outline of a new Metropolitan Region Pollutant Prevention Plan, recently approved by Government, is presented.

Antecedentes

Contaminación atmosférica en grandes ciudades: un problema a nivel mundial

Reportes de Global Environmental Monitoring System (*GEMS*), en base a datos registrados sobre una muestra de alrededor de 50 ciudades, señalan que a mediados de la década pasada, más de 1.300 millones de personas vivían en ciudades de más de 250.000 habitantes, en las cuales no se cumplían las recomendaciones impuestas por la World Health Organisation, *WHO*, en cuanto a calidad del aire en lo referente a partículas en suspensión. Según Elsom (1996) [1], en lo relativo a dióxido de azufre, la cifra anterior alcanzaba los 1.000 millones de personas a fines de la década de los 80.

Un análisis reciente efectuado por Schewela (1995) [2] sobre la información generada por *GEMS*, permite concluir que 1.600 millones de personas en el mundo están bajo el riesgo que implica altos niveles de contaminación atmosférica y que si no se aplican medidas efectivas de control, esta cifra puede aumentar debido a la emigración hacia las grandes ciudades y las altas tasas de natalidad. La mayor parte de las estimaciones sobre la población mundial que está sometidas a riesgo ambiental, están orientados a partículas en suspensión y dióxido de azufre, sin embargo, si se toma en consideración a todos los contaminantes que causan efectos negativos a la salud, estas cifras son mucho más elevadas.

La Agencia del Medioambiente Europea, por su parte, estimó que sólo en Europa, entre un 70 a 80% de las 105 ciudades de más de 500.000 habitantes, excedían los niveles máximos recomendados por la *WHO*, para uno o más contaminantes, al menos una vez al año.

Los contaminantes atmosféricos: sus orígenes y efectos sobre la salud

Hasta hace algunas décadas atrás, el término "contaminación atmosférica", estaba asociado a la presencia de partículas en suspensión (hollín, humo) y dióxido de azufre, los cuales corresponden a residuos, principalmente provenientes de equipos de calefacción doméstica; procesos industriales y plantas de generación. El desarrollo industrial, junto con la diversidad de las actividades humanas, por una parte y el impresionante aumento del uso del petróleo y sus derivados, por otra, incorporan durante el transcurso del presente siglo, una serie de "nuevos" contaminantes presentes en la atmósfera, entre los cuales se pueden mencio-

nar: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos y plomo, entre otros. En la Tabla 1, se indica los orígenes de algunos de los más relevantes contaminantes atmosféricos presentes en las ciudades.



FIGURA 1. Efectos sobre la salud y proporción de la población afectada

Los efectos que sobre la salud ejercen los distintos contaminantes atmosféricos, definen una amplia gama, que van desde la mortalidad y enfermedades crónicas hasta efectos psicológicos y otros originados por la acumulación de contaminantes en el organismo a lo largo del tiempo. Los efectos mas serios afectan a una proporción de la población relativamente reducida, mientras que esta fracción aumenta para efectos menores, tal como se aprecia en la Figura 1.

En todo caso, cabe destacar que los efectos que tiene sobre la salud, la exposición en ambientes con presencia de contaminantes, dependen, según Belmar (1993) [3], de dos tipos de factores fundamentales. En primer término están los factores que agravan o modifican los efectos, entre los cuales se distinguen: el lugar y tiempo de exposición y las características del individuo (edad y factores fisiológicos, educación y cultura, estrato social y características laborales, entre otros). En segundo lugar, existen factores confundentes, entre los cuales están la temperatura ambiente, humedad relativa, hábito de fumar (fumador pasivo y activo), uso de ciertos combustible a nivel doméstico, hiperactividad bronquial, características de la vivienda, situaciones laborales y estrato social.

Tabla 1. Principales Contaminantes Atmosféricos y sus orígenes [1]

CONTAMINANTE	ORIGEN
Dióxido de azufre	Plantas de generación a carbón o petróleo Calderas Industriales Incineradores Calefactores domésticos Vehículos Diesel Fundiciones Industria papelera
Partículas (humo, polvo, <i>PM10</i>)	Plantas de generación a carbón o petróleo Calderas Industriales Incineradores Calefactores domésticos Procesos industriales Vehículos Diesel Construcción Minería Industria del cemento
Oxidos de Nitrógeno, NOx	Plantas de generación a carbón y a gas Calderas industriales Incineradores Vehículos motorizados
Monóxido de Carbono, CO	Vehículos motorizados Procesos de combustión
Compuestos Orgánicos Volátiles, <i>COV</i>	Gases de escape de motores Fugas en estaciones de distribución de combustibles Industria de pinturas
Sustancias Orgánicas Tóxicas (hidrocarburos aromáticos, dioxinas, etc)	Residuos de incineradores Producción de carbón Combustión de carbón
Metales Tóxicos (plomo, cadmio)	Gases de escape de vehículos Procesamiento de metales Residuos de incineradores Combustión de petróleo y carbón Manufactura de baterías Producción de cemento Producción de fertilizantes
Sustancias Químicas Tóxicas (cloro, flúor, amonía)	Plantas químicas Procesamiento de metales Producción de fertilizantes
Gases de Invernadero (metano, dióxido de carbono)	Procesos de combustión (dióxido de carbono) Plantas de generación (dióxido de carbono) Minas de carbón (metano) Fugas de gas (metano)
Ozono	Contaminante secundario formado por <i>COV</i> y NOx

Estrategias y políticas de control

Si bien es cierto que las políticas de control ambiental deben centrarse en el objetivo fundamental de proteger la salud y bienestar de las personas, hay que tener presente que una total protección del medioambiente puede significar una total ausencia de contaminantes en la atmósfera. Si, por otro lado, se acepta como definición del término "contaminación" el aumento o disminución de cualquier elemento constituyente de la atmósfera, teniendo como referencia su composición en ausencia de toda actividad humana, el problema de definición de estrategias se torna bastante complejo.

Según Elsom (1992) [4], la solución pasa por una decisión, de parte de la sociedad, de cuál es el nivel aceptable de protección ambiental y disminución de riesgo sobre la salud humana, que resulta compatible con las actividades humanas. Esta decisión, sin lugar a dudas se ve influenciada por factores sociales, económicos, tecnológicos y políticos, aparte del conocimiento que existe sobre la naturaleza, orígenes y efectos de los contaminantes.

Los objetivos de las políticas ambientales, sean estas locales, nacionales o internacionales, pueden ser de corto o largo plazo. Los de corto plazo, corresponden a la disminución de la concentración de contaminantes a niveles que estén por debajo de aquellos que producen efectos adversos detectables y, eventualmente la eliminación de aquellos que provienen de fuente no esenciales. Los objetivos de largo plazo, son aquellos orientados a aumentar el margen de seguridad frente a riesgos sobre la salud humana y la reducción o eliminación de los efectos adversos sobre la vegetación, materiales, animales y cambios climáticos inducidos por la presencia de determinados contaminantes.

La implementación de políticas y estrategias de control sobre la contaminación atmosférica, se traduce en la implementación de normas de calidad de aire para los distintos contaminantes y normas y regulaciones para las emisiones de contaminantes por parte de las fuentes emisoras. Las primeras corresponden a los niveles de concentración máximos permitidos de un contaminante dado, durante un tiempo también dado, que garantiza el grado de protección establecido por criterios que toman en cuenta los efectos sobre la salud, tecnologías disponibles y actividades presentes en la ciudad. Las normas de emisión, por otra parte, establecen los niveles máximos de emisión para cada fuente específica, que permiten cumplir con la norma de calidad de aire.

La gestión ambiental de una ciudad, para lograr sus objetivos debe contar, al menos, con la capacidad para monitorear la calidad del aire en forma continua y permanente y para ejercer acciones de fiscalización del cumplimiento de las normas de emisiones, junto con la capacidad de poner en práctica medidas concretas y oportunas como respuesta a la fiscalización y monitoreo anteriormente aludidas. Esto último se traduce, por ejemplo, en la declaración de alertas ambien-

tales, con su correspondiente plan de acción y la aplicación de sanciones a los responsables de las fuentes emisoras que no cumplan con las regulaciones, junto con entregar señales o establecer estímulos para orientar cambios en las actividades tanto particulares como industriales o comerciales, conducentes disminuir el impacto negativo que éstas ejercen sobre el medio ambiente.

Diagnóstico general del problema en la ciudad de Santiago

Factores que favorecen a la contaminación atmosférica de Santiago

En los altos índices de contaminación atmosférica de la Región Metropolitana, inciden los siguientes factores fundamentales:

Características Geográficas

Los aproximadamente 15.500 km² de la Región Metropolitana, que constituye el 2.1% de territorio total del país, están localizados en una cuenca limitada al oriente por faldeos precordilleranos de Los Andes, que superan los 3.200 m de altura; la cordillera de la costa, por el oeste, con alturas sobre los 2000 m; el valle del río Maipo que abre la cuenca por el sudoeste y una formación montañosa, que también supera los 2000 m de altura, por el sur. Esta situación geográfica impone un fuerte obstáculo a la circulación de vientos a través de la cuenca lo que trae como consecuencia una débil tasa de renovación al interior de ésta.

Características Meteorológicas

La dispersión de contaminantes en una ciudad queda fuertemente condicionada a factores climatológicos, los cuales resultan ser especialmente adversos en la Región Metropolitana. La existencia del anticiclón del Pacífico y los sistemas frontales de bajas presiones, como factores de gran escala que dan origen a un clima estable cálido en verano y frío y despejado en invierno, sumado a otros de menor escala, como las depresiones costeras, brisas mar-continente y brisas valle-montaña, conforman la situación climatológica característica de la Región, que favorece la ocurrencia de eventos de contaminación.

La presencia de una *inversión térmica*, de subsistencia prácticamente durante todo el año y la generación adicional de una capa de inversión, durante los meses de invierno, causada esta última por el enfriamiento de la superficie terrestre, provoca una capa de mezcla reducida y una atmósfera muy estable, condiciones muy favorables para la ocurrencia de episodios de alta contaminación atmosférica.

Los regímenes de vientos presentes en la Región, se caracterizan por brisas valle-montaña, generando vientos desde el sur-oeste durante el día y en dirección contraria durante la noche. En la Figura 2 se muestran en forma gráfica,

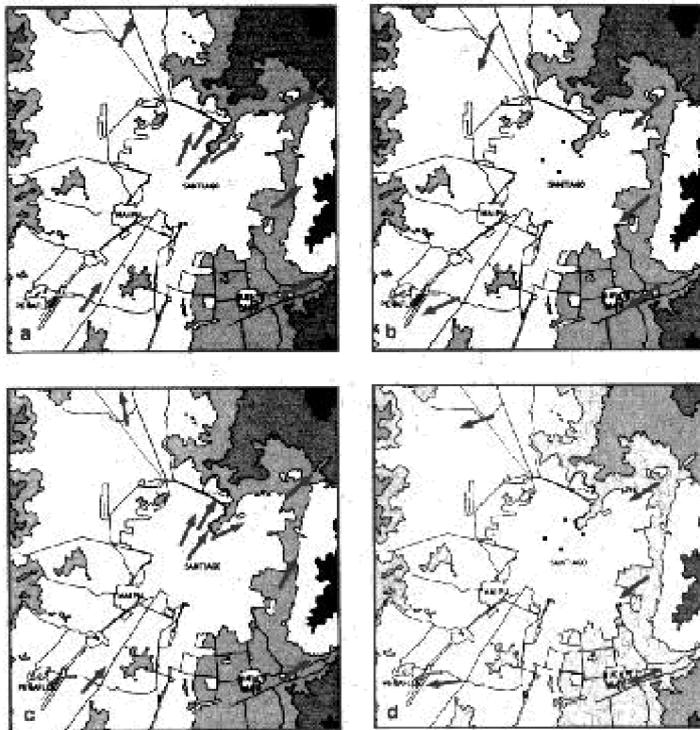


Figura 2. Direcciones del viento en Santiago [5]
a) Invierno - tarde, b) Invierno - noche, c) Verano - tarde y d) Verano - noche

las direcciones predominantes del viento observadas en Santiago, según Ulriksen (1993) [5]. La menor magnitud de la *inversión térmica* y mayores velocidades de viento durante el verano permiten una relativa mejor ventilación de la ciudad.

Condiciones urbanas

La situación urbana de Santiago, se caracteriza por una alta concentración de la población y actividades, lo cual contribuye notablemente a los niveles de contaminación. La concentración poblacional está acompañada por una expansión horizontal de la ciudad y una notoria segregación espacial, social y funcional.

Inventario de emisiones de la Región Metropolitana

El último inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana, realizado en 1997, en base a la información actualizada sobre fuentes fijas de *PROCEFF*, de los flujos vehiculares de la red vial primaria de *SECTRA*, más la información actualmente disponible sobre fuentes domésticas

y comerciales y la cuantificación del levantamiento de polvo de calles con y sin pavimentar por efecto del flujo vehicular, arrojan la distribución de responsabilidades de cada tipo de fuente sobre las emisiones totales en la ciudad, que se indica en la Tabla 2.

En base a los niveles de contaminación atmosférica alcanzados, mediante el Decreto Supremo N° 131 del 12 de junio de 1996, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, la Región Metropolitana, la Región Metropolitana fue declarada Zona Saturada para los siguientes contaminantes atmosféricos: Partículas Totales, *PTS*; Material Particulado Respirable, *PM10*, Monóxido de carbono, CO y Ozono, O₃ y Zona Latente de Saturación, para el Dióxido de Nitrógeno, NO₂.

Aspectos generales de la gestión ambiental aplicada a la Región Metropolitana

Primer plan de descontaminación de la Región Metropolitana

Mediante Decreto Supremo del Ministerio del Interior, en 1990, se crea la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana, CEDRM. Esta Comisión estuvo dirigida por el Ministro del Interior y la integraron los Ministros de la Secretaría General de la Presidencia, Hacienda, Economía, Vivienda, Bienes Nacionales, Transportes, Salud, Obras Públicas, Agricultura, Comisión Nacional de Energía y Secretaría General de Gobierno. Los titulares de estos Ministerios, constituyeron un Comité de Ministros cuya función fue la de evaluar los avances y obstáculos en la gestión de dicha Comisión. Esta Comisión tuvo la responsabilidad de diseñar y ejecutar el primer Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana, conocido como "Plan Maestro".

El objetivo fundamental del Plan, fue reducir el nivel de emisiones de manera estable y permanente, a fin de recuperar y mantener una calidad ambiental en la Región Metropolitana a niveles que sean considerados satisfactorios por la población y que garantice la protección adecuada la salud de los habitantes de la ciudad. El logro de este objetivo global se tradujo en la implementación de medidas de corto, mediano y largo plazo, en los campos de transportes, servicios urbanos, industria, residencias y empresas de la construcción.

Luego de cinco años de ejecución del Plan, Escudero (1996) [6] reporta los siguientes resultados más relevantes en las áreas que se indica, en lo referente a contaminación atmosférica:

**Tabla 2. Responsabilidades de las Emisiones
en la Región Metropolitana. [6]**

Tipo de		% de la Emisiones Totales				
Fuente	Fuente	PM10	CO	NO_x	COV	SO₂
Fuentes Fijas	Procesos Industriales	3.5	0.1	13.8	0.06	37.1
	Calderas Industriales	3.6	0.4	13.0	0.2	41.4
	Calderas Calefacción	0.5	0.04	1.1		2.0
	Panaderías	0.08		0.2		
	Total Fuentes Fijas	7.7	0.5	28.1	0.3	80.5
Fuentes Móviles	Vehículos Particulares	0.5	52.6	16.9	32.0	1.3
	Vehículos Comerciales	0.8	30.7	9.6	18.7	1.9
	Taxis	0.1	10.0	3.9	5.9	0.5
	Camiones	2.3	2.9	22.5	2.6	6.4
	Buses	2.8	0.8	14.1	1.3	4.8
	Motocicletas		0.1	0.02	0.2	
	Total Fuentes Móviles	6.5	97.1	67.0	60.7	14.9
Polvo de Calles	Pavimentadas	68.3				
	No Pavimentadas	10.7				
	Total Polvo de Calles	79.0				
Otras Fuentes (*)		6.8	2.4	4.9	39.0	4.6

(*):Otras Fuentes: Combustión residencial, Emisiones evaporativas de *COV*, Solventes de uso doméstico, Distribución de combustibles, Emisiones biogénicas, Incendios forestales, Quemadas agrícolas, etc.

Transporte Público

Se produce una intervención directa del Ministerio de Transportes ante una completa desregulación y desreglamentación del sector, producto de la declaración de libertad de recorridos en 1975. Esta intervención se traduce en las siguientes medidas concretas:

- Retiro de las 2.600 máquinas de mayor edad, sobre un total de 13.500.
- Normas de emisión: rebaja de los niveles de opacidad de máquinas en uso y estándares muy exigentes de emisión para vehículos nuevos.
- Licitación de recorridos.
- Renovación en una proporción cercana al 100% de la flota. Implementación de paraderos diferidos.
- Mejora del sistema de revisión técnica obligatoria.
- Fiscalización sistemática en la vía pública

Transporte Privado

La estrategia aplicada al transporte privado, contempló dos grandes líneas: reducción de emisiones y desincentivo al uso de automóvil, lo cual se materializó a través de las siguientes acciones:

- Establecimiento de normas de emisión para vehículos livianos nuevos, que introduce la tecnología de convertidor catalítico y la disponibilidad de gasolina sin plomo junto con lubricantes especialmente formulados para este tipo de motores.
- Rediseño de un sistema mejorado de revisiones técnicas obligatorias, dotadas de una mayor cantidad de pruebas instrumentales y aspectos de inspección.
- Implementación de una administración computarizada de semáforos.
- Fiscalización sistemática de emisiones en la vía pública.

Fuentes Fijas

Las principales acciones del Plan respecto a este tipo de fuentes emisoras, fueron:

- Establecimiento de una norma de emisión para material particulado
- Registro obligatorio de fuentes e implementación de un sistema de declaración de emisiones.
- Congelamiento del total de emisiones del sector, para lo cual toda nueva fuente o ampliación de una existente, además de cumplir con las normas de emisión debe efectuar una compensación de éstas, a través de acuerdos con terceros.

- Establecimiento de metas de reducción en un 50% las emisiones del sector, a través de un plan diferido en cuatro años.
- Creación del Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas, **PROCEFF**.

Polvo de calles

Las acciones para reducir las emisiones provenientes del levantamiento de polvo de calles, han sido:

- Programa extraordinario de pavimentación, a una tasa de algo más de 200 km por año.
- Lavado de calles pavimentadas.

A pesar de las acciones concretas antes referidas, como resultado de la aplicación del Plan Maestro, los propios autores y ejecutores de dicho plan, reconocen desafíos pendientes al tiempo de detectar que se podría haber hecho mas en los campos específicos antes señalados. Por otra parte y sumado a lo anterior, el crecimiento de alguna fuentes emisoras, como es el caso de la fuentes móviles, ha sido a una tasa tal que hace disminuir los efectos de la aplicación de las medidas estratégicas insertas en el Plan.

Nuevo plan de prevención y descontaminación de la Región Metropolitana [7]

La evaluación global y objetiva de los resultados de aplicación del Plan Maestro referido en los párrafos precedentes, por una parte y el mayor grado de conocimiento generado en el país acerca de las fuentes emisoras sus emisiones y efectos sobre la población, por otra, fundamentan la formulación del nuevo Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana, PdPDRM, recientemente aprobado por el Ejecutivo.

El nuevo plan, plantea metas de reducción de emisiones que consisten en llegar al 40% de las emisiones de CO; al 50% de la emisiones de NO_x, **PM10**, SO_x y **COV** y al 35% de las emisiones de partículas totales en suspensión, **PTS**, tomando como referencia (100%) las emisiones que describen la situación del año 1995.

Para el logro de estas metas, el Plan define instrumentos de gestión contenidos en estrategias definidas para los siguientes cuatro sectores principales: Transporte, Industria, Comercio y Construcción, Agricultura y sector Doméstico. Para el sector Transporte, se contempla las siguientes dos estrategias: reducción de la emisiones por vehículo y contención y reducción del total de kilómetros recorridos y los tiempos de desplazamiento de los vehículos motorizados en la región. La primera de estas estrategias, va acompañada de cinco líneas de acción concretas: renovación de las flotas de transporte público y privado, implementa-

ción de mayores exigencias para los vehículos nuevos, mejoras en el control de los vehículos en uso, mejora de los combustibles y reducción de la emisiones provenientes de las calles pavimentadas y no pavimentadas. Por su parte, la segunda estrategia implica las siguientes líneas de acción: incorporación de la dimensión ambiental en la planificación territorial, contención de la expansión urbana, mejorar de la organización socio-espacial, mejora de la calidad de los servicios de transporte público, incentivar el uso racional del automóvil y evitar nuevos viajes motorizados.

El sector Industria, Comercio y Construcción, tiene definido las siguientes cuatro estrategias: reducción de emisiones de las fuentes existentes, establecimiento de mecanismos de sustentabilidad del crecimiento industrial para las emisiones atmosféricas, optimización del sistema de fiscalización y control de las emisiones provenientes de la construcción. La reducción de las emisiones de las fuentes existentes, define, a su vez, las siguientes líneas de acción: definición de exigencias tecnológicas y/o de emisión más eficientes de acuerdo a las características de cada fuente, establecimiento de mecanismos que permitan facilitar el cumplimiento de tales exigencias, reducción de las emisiones difusas y mejora de los combustibles.

El sector Agrícola contempla la aplicación de dos estrategias fundamentales: control de las emisiones provenientes de la agricultura y promover la forestación y áreas verdes. Para el sector doméstico, por último, se ha definido la necesidad de promover la calidad energética.

Bibliografía

1. Derek Elsom. Smog Alert. Managing Urban Air Quality. Erathscan Publications Limited. 1996.
2. Dietrich H. Schewela. Public health implications of urban air pollution in developing countries. Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Espoo, Finland, 1995.
3. R. Belmar. Contaminación Atmosférica de Santiago: Estado Actual y Soluciones. Capítulo 6. Efectos de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud de la Personas. Universidad de Chile, CONAMA-RM, Banco Santander. 1993.
4. D.M. Elsom. Atmospheric Pollution: A Global Problem. Blackwell, Oxford UK & Cambridge USA. 1992.
5. P. Ulriksen. Contaminación Atmosférica de Santiago: Estado Actual y Soluciones. Capítulo 2: Factores Meteorológicos de la Contaminación Atmosférica de Santiago. Universidad de Chile, CONAMA-RM, Banco Santander. 1993.
6. J. Escudero. A 5 años del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana. Acción Ciudadana por el Medio Ambiente. Junio 1996.
7. Anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Marzo 1997.

Glosario

COV:Compuestos Orgánicos Volátiles.

Capa de Inversión Térmica: Zona de la atmósfera en que se mezclan dos cortrientes de aire de diferente temperatura. La temperatura del aire aumenta desde su extremo inferior hasta alcanzar un valor máximo en el extremo superior.

GEMS: Global Environmental Monitoring System

PM10: Partículas respirables de tamaño medio menor o igual que 10 micrones.

PTS:Partículas totales en suspensión.

PROCEFF: Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas, dependiente del Ministerio de Salud.

SECTRA: Secretaría de Transportes del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

WHO:World Health Organisation

Roberto Corvalán Académico del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile desde 1980. Se dedica al estudio de factores de emisión de fuentes fijas y móviles. Obtuvo el grado de Doctor Ingeniero Industrial en la Universidad Politécnica de Madrid, España (1985), desarrollando su tesis en el tema de energías alternativas. Ha participado en varios proyectos encargados por organismos estatales (Conama, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Comisión Nacional de Energía, etc.), relacionados con las fuentes de emisiones móviles y fijas en calidad de especialista y jefe de proyecto.