

CARACTERÍSTICAS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE SANTIAGO Y SU EVOLUCIÓN

GOG. HUGO ROMERO
Director del Departamento de Geografía
Universidad de Chile

DR. CARLOS F. ARANDA
Médico Hospital Félix Bulnes C.
Santiago Chile

RESUMEN

Santiago es una de las ciudades más contaminadas de América Latina debido a sus condiciones topo climáticas y a la localización y naturaleza de las fuentes emisoras.

La distribución y concentración de los contaminantes atmosféricos presenta diferentes patrones espaciales y temporales. Los primeros dependen del uso del suelo urbano y de la presencia en ellos de fuentes fijas y móviles que aportan a la atmósfera partículas en suspensión, óxidos de azufre, óxidos nitrosos, hidrocarburos y contaminantes fotoquímicos. La difusión de estos está controlada por los rasgos climáticos locales y se hace necesario estimar su gravedad para insistir en la necesidad de planificar el uso del suelo y el diseño urbano. En Santiago no existe ninguna área que puede considerarse libre de contaminación y en consecuencia, son necesarias medidas de control complementarias y diversas sobre el espacio urbano.

Desde el punto de vista temporal existen importantes variaciones interanuales, estacionales y diarias controladas por los cambios climáticos, por el comportamiento de corto plazo de las fuentes móviles y por las tendencias de los emisores permanentes.

La contaminación de Santiago significa un creciente riesgo para la salud de sus habitantes según se desprende de la revisión de la literatura médica y de resultados preliminares de estudios epidemiológicos que se encuentran en el desarrollo.

1.- Topo climatología de la Cuenca de Santiago

Tres son los hechos más significativos que caracterizan la topo climatología de la ciudad:

- a) Su situación a 33° S; en el margen occidental de América del Sur, bajo condiciones anticlonales predominantes durante todo el año,

con breves interrupciones asociadas a las lluvias frontales e irregulares que ocurren entre los meses de mayo y septiembre. Como consecuencia existe una capa persistente de inversión de subsidencia entre los 600 y 1 200 m.s.n.m, que se ve fortalecida por inversiones radiativas se superficie, en especial en los meses de otoño e invierno.

- b) El hecho de que la ciudad se ubique en el centro mismo de una cerrada cuenca, de entre 300 y 600 m. de altura, rodeada completamente por cadenas montañosas pertenecientes a las cordilleras de los Andes y de la Costa, que llegan a superar los 3 500 m.s.n.m., de lo que resulta la constante intercepción de las laderas con capa de inversión que impide el intercambio del aire fuera de los límites de la cuenca.

Por otro lado, los sistemas de vientos de esta atmósfera extraordinariamente estable están reducidos a los anticiclónicos débiles que soplan del SW y S, a las brisas de mar a continente que logran penetrar por el valle aguas arriba y a los vientos anabáticos y catabáticos, claramente disminuidos por la rugosidad urbana.

- c) Una heterogénea morfología urbana que se localiza sobre el piedemonte y a la llanura aluvial, conformada por el centro antiguo de alta densidad y cañones urbanos. Por barrios residenciales con superficies verdes ubicados en el área oriente y por extensas áreas marginales, urbanas e industriales, en que se alternan laderas desforestadas, sitios eriazos de suelo desnudo y calles sin pavimentar, localizados especialmente en los sectores S y SW.

Consecuentemente existe una nítida isla de calor urbano que se extiende desde el centro tradicional por 3 Km. a su alrededor, en la cual la temperatura media mensual de los meses de Otoño e Invierno llega a ser 7.5° más alta que las áreas más frías ubicadas en la periferia S. W. de la ciudad.

1. Efectos de las variaciones climáticas

Al examinar los organismos de la contaminación atmosférica (CA) de Santiago (1) es posible comprobar que excepción hecha de las variaciones diarias y horarias de la densidad de flujos de vehículos motorizados, las fuentes fijas (industrias, residencias, calles sin pavimentar, sitios eriazos) pueden superponerse como estables en el corto plazo. Sin embargo, al analizar los datos "históricos" de CA se observaron variaciones en la distribución y concentración de estaos a través del tiempo.

Dichas variaciones son causadas por los cambios en las condiciones climáticas.

En primer lugar, existieron años, como en 1979 y 1983 en que se registraron valores promedios altos de contaminación y, continuos episodios persistentes que excedieron umbrales considerados críticos para la salud. Tales días correspondieron al “tipo de tiempo anticlinal de invierno”, caracterizado por temperaturas mínimas diarias bajas, escasas lluvias y días mayoritariamente despejados, en los cuales se confundieron los niveles de inversión térmica de subsidencia y radiación.

Usando estos antecedentes y con el objeto de caracterizar retrospectivamente períodos de alta contaminación se analizaron los datos de los organismos oficiales (Servicios de Salud del Ambiente y de la Dirección Meteorológica).

Utilizando dicha información se definió como período crítico de alta contaminación a aquellos que cumplieran con los siguientes requisitos:

- a) Que durante dos mediciones diarias sucesivas se superara el valor de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Partículas Totales en Suspensión (PTS) en a lo menos dos estaciones de vigilancia.
- b) Y, que en forma simultánea se separara al nivel de $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de azufre (SO_2), en cualesquiera de las estaciones.

Este procedimiento se aplicó entre los años 1977-1986, determinándose así las horas en exceso de estos contaminantes (Tabla 1).

En 1979 se habrían registrado 1 176 hrs. en que se excedió el máximo permitido de PTS y SO_2 , siendo estas cifras un factor de riesgo significativo en la producción de enfermedad respiratoria (2).

En segundo lugar, cada contaminante presenta su propia distribución espacial estacional (3). Mientras el dióxido de nitrógeno (NO_2) refleja en su patrón concéntrico la incidencia de la congestión vehicular, el SO_2 demuestra con sus dos núcleos centrales la localización diferente del aporte de los vehículos y calderas industriales. El PTS su parte alcanza sus calderas industriales. El PTS por su parte alcanza sus máximas concentraciones en la periferia urbana del S. E. y N. W., es decir donde predominaban las recientes urbanizaciones. Esto significa que ningún sector del área metropolitana puede considerarse libre de la exposición a altos niveles de algún tipo de contaminante y que, en consecuencia, las medidas de control deben ser diversas y complementarias, tanto en el tiempo como en el espacio y consideradas en la planificación en la planificación y diseño urbano.

En tercer lugar se encuentran las variaciones mensuales diarias y horarias de la CA y su relación con los cambios climáticos de corto plazo. “La especialización” en el espacio urbano de la CA ratifica la interacción con el sistema climático de la cuenca, sugiriendo que es

posible mejorar la calidad del aire urbano a través de la planificación del uso del suelo.

2. Inventario de las emisiones y características de los aerosoles.

La Tabla 2, señala la responsabilidad que en el origen de la CA de Santiago le corresponde a los vehículos, industrias, viviendas y calles en el total de las emisiones. Los vehículos son la causa principal de los óxidos nitrosos (NO_x), hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Entre éstos son muy especialmente los automóviles particulares y la locomoción colectiva que posee motores e petróleo. De acuerdo a la distribución espacial de los flujos de transporte y teniendo en cuenta que la mayoría de estas convergen al centro de la ciudad, constituyen la causa de los altos niveles allí encontrados, los que también se presentan altos a lo largo de las vías de acceso, siendo regularmente trasladados por los sistemas de vientos locales hacia al oriente de la cuenca.

Los procesos industriales son, en cambio, la causa de la mayor, proporción de partículas y óxidos sulfurados. Por la localización preferencial de las industrias hacia el sur y poniente del centro urbano, sus contaminantes son transportados esta vez por los vientos regionales como también por aquellos controlados por la isla de calor.

Mientras las residencias realizan un aporte significativo al origen de las partículas, HC y NO_x las calles sin pavimentar producen el 80% del polvo atmosférico. Dependiendo de la localización y estatus de las viviendas y calles, en función del espacio social, estos contaminantes pueden ser también transportados hacia el centro de la ciudad.

El rol particular desempeñado por los buses Diesel es ratificado en un reciente inventario, según el cual del 28% del PTS originado por los vehículos, el 71% es producido por ese tipo de vehículos (4). Respecto a los vehículos bencineros, en 1988 su aporte corresponde al 84.6% del CO y al 66.7% de los HC. Del PTS, el polvo de las calles continúa siendo responsable en gran porcentaje (64%).

La tabla 3 presenta devolución de las emisiones de contaminación. Respecto a los procesos industriales existe entre 1976 y 1984 un notable cambio, caracterizado por un incremento de las calderas y hornos y un brusco descenso en el número de industrias. Los primeros, debido al empleo de formas más baratas de combustión han aumentado sus emisiones, esencialmente en PTS, SO₂ y CO. Las industrias, no obstante la significativa reducción en su cantidad, han incrementado sus emisiones de 50%, HC y CO, todo lo cual permitiría concluir que han existido modificaciones hacia el empleo

de combustibles mas contaminantes y un abandono deterioro de los sistemas de control.

El hecho de haberse duplicado el parque vehicular en períodos 1976-1984 no basta para explicar el aumento superior en 4 veces que experimentaron las partículas y 50%. Más bien se trataría de un envejecimiento del parque móvil y el uso creciente de motores a petróleo. También, para el período señalada se produce un incremento en la densidad de contaminación por vivienda, pasando el PTC de 0.17 a 0.45 Kg./año/casa y el CO de 0.22 a 22.6 Kg/años/casa.

Las características del PTC, considerando que es el principal responsable de la contaminación merece ser descrito de manera particular. En primer lugar, del total emanado (tabla 2) aproximadamente 100 ug/m³ corresponde a polvo de origen natural, cuyo diámetro es mayor a 10 um. El resto corresponde a sustancias de origen antropogénico de las cuales el 70% es de tamaño menor a 2 um, y por lo tanto de letereas, para la salud por ser respirables (5).

Tabla 4

Promedios anuales (1983-1985) y días con niveles máximos de partículas totales en suspensión (PTC)

PTS	Norma	1983	1984	1985
X	geomet. 75 ug/m ³	200	208	183
Anual				
Máx. para	24 260 ug/m ³	726	855	690
hrs.				

Fuente: H. Sandoval. Desarrollo, Ambiente y Salud (6)

6) Efecto en la salud

Dos tipos de contaminantes caracterizan la CA de Santiago: PTS y sustancias fotoquímicas.

Las PTS corresponden a un grupo demás de 10 000 tipos de diferentes contaminantes y producen efectos nocivos principalmente carácter crónico:

- a) Mayor prevalecencia de Bronquitis Crónica (7) y de enfermedades respiratorias totales (3) de ciudades con escasa contaminación.
- b) Deterioro de la función respiratoria de escolares de las ciudad de Santiago, respecto de la ciudad de los Andes (control). (8).

- c) Efectos sobre el mecanismo del huésped. Ruiz y cols. Encontraron diferencias en la capacidad fagocítica de las células de sangre periférica de escolares santiaguinos respecto de aquellos residentes de El Monte (9).
- d) Respecto de enfermedades cancerígenas no existen evidencias de un incremento en la ciudad capital (10). Esto contradice las referencias internacionales al respecto (11). Sin embargo el efecto cancerígeno de estos contaminantes se expresa en un período mayor a 10 años por lo cual no es posible deducir su efecto.

Respecto de los contaminantes fotoquímicos, de los cuales se conocen particularmente sus efectos agudos sobre el sistema bronco pulmonar, induciendo obstrucción bronquial (12), son de una evolución más compleja desde el punto de vista epidemiológico, dada que se producen un fenómeno de la presión tolerancia frente a su exposición mantenida (13). Sus efectos no son evaluables aun para nosotros en nuestro medio.

7.- Conclusiones

De acuerdo a las evidencias presentadas, la contaminación atmosférica de Santiago es un problema general y complejo que se agrava paulatinamente y que compromete seriamente la salud de sus habitantes.

Desde el punto de vista geográfico tres son los aspectos de mayor interés:

- a) Proponer una topografía climatológica urbana más favorable a la descontaminación, que minimice los efectos de la Isla de Calor y de los cañones urbanos a través de los sistemas urbanos y de circulación termal y el aprovechamiento de la ventilación local.
- b) Elaborar proposiciones respecto a la planificación y diseño del espacio urbano en especial a la localización de las fuentes emisoras: sistemas de transporte público, ubicación de industrias, extensión urbana, modos de calefacción intra domiciliaria.
- c) Sugerir un programa de vigilancia y seguimiento de la contaminación y que considere pronósticos sobre bases climática su diseño una clasificación de la calidad del aire que incluye las particularidades de Santiago y que contribuya un programa permanente de observación epidemiológica.

Bibliografía

- (1) Escudero, J. H. Sandoval y P. Ulriksen, (1983). Diagnóstico de la contaminación atmosférica de Santiago. Rev. Ingeniería de Sistemas Vol. III, N° 3 : 28-52.

- (2) Euler, G, L., Abbey D.E., Magie A, R. et.al. Obstructive pulmonary disease symptom effects of long term cumulative exposure to ambient levels of total suspended particles and sulfur dioxide in California Seventh Day Adventist residents. Arch. Environ Health 1987; 42. N°4:213-221.
- (3) Aranda, C. y H. La topografía climatológica de Santiago y su efecto sobre la contaminación atmosférica y la salud. Rev. Enferm. Respir. Y Cirugía Torácica 1989 (en prensa).
- (4) Sandoval H. Asenjo R. Introducción al Análisis del Problema de la Contaminación Atmosférica de Santiago. Documento preparado para el Centro de Estudios del Desarrollo. Santiago, Agosto 1988.
- (5) Prendez M. Efectos sobre la salud del material particulado suspendido en el Aire. Informativo sobre salud y contaminación atmosférica Vol. 1 N° 2: 6-9 1988.
- (6) Sandoval H. Desarrollo, Ambiente y SALUD. Cuad. Méd. Soc. XXVIII, 1, 7-16. 1988.
- (7) Dyaguren H. y Cols. Bronquitis Crónica y Contaminación Atmosférica. Rev. Méd de Chile 1979; 107:858.
- (8) Aranda C. y Cols. Informe preliminar. Citado en: Congreso de Enfermedades Respiratorias y Tuberculosis. Noviembre 1988. Santiago, CHILE.
- (9) Ruiz F., Videla L., Vargas N. y Cols. Air Pollution Impact on Phagocytic Capacity of Peripheral Blood Macrophages and Antioxidant Activity of Plasma Among School Children. Arch Environ Health Mayo-Junio 1988 (En prensa)
- (10) Martínez L. Paredes R, Caris L. Epidemiología del Cáncer Pulmonar en Chile. Rev. Méd. Chile. 113:48-54, 1985.
- (11) WORLD HEALTH ORGANIZATION "Health Hazards of the Human Environment" in Air Pollution and Cancer in Man; 1972.
- (12) Kagowa J. Toyana T. Photochemical air pollution. Its effects on respiratory function of elementary school children. Arch Environ Health; 30, march, 1975 pp 117-122.
- (13) Koenig J. Q. Pulmonary reaction to environmental pollutants. J. Allergy Clin Immunol 1987; 79: 83-843.

Tabla 1

Períodos críticos de contaminación en Santiago (1977-1986)
 Valores Promedios Diarios de partículas Totales en Suspensión
 (PTS), Dióxido de Azufre (SO₂). Temperaturas Mínimas (Tn) y
 Precipitaciones totales (PT)

PERÍODO	PTS	SO₂	Tn	PT	Horas de exedencia en el año
1979	(ug/m ³)	(ug/m ³)	(°C)	(mm)	1 176
29 May-12 Jun.	433.2	242.2	2.5	0.0	
16 Jun-21Jun	470.2	161.6	1.5	0.0	
23 Jun-30Jun	439.6	173.7	2.8	0.0	
6 Jul-17Jul	302.9	181.2	5.4	0.0	
21 Jul-26Jul	376.6	173.5	5.2	53.2	
7 Agust-11Agost	323.4	129.0	5.9	0.0	
1980					264
26 Jun-3 Jul	459.9	138.2	-0.1	0.0	
26 Agust-28Agost	326.8	113.5	4.0	0.1	
1981					72
9 Jul-11Jul	677.7	128.5	5.6	1.3	
1982					696
7 May-11Mayo	365.3	138.5	4.5	0.0	
25Jun-29Jun	386.2	127.0	-0.4	0.0	
16 Jul-3 Agust	381.9	144.6	2.3	0.0	
1984					96
25 Agust-28 Agust	377.0	136.0	1.9	0.0	
1985					408
2 Jul-11 Jul	428.0	176.3	4.2	9.1	
30 Agust-5 Sep	309.3	111.0	4.2	0.3	
1986					96
12 May-15 May	373.0	127.0	9.8	0.1	

Tabla N° 2 FUENTES DE CONTAMINACION ATMOSFERICA SANTIAGO CHILE

% del total

Fuente	Número	PTS	SOx	NOx	Hc	CO	Polvo
Vehículos	402 856	31.7	18.3	88.7	77.5	92.3	
Taxis		9.9	2.8	34.6	52.9	66.9	
Bus Benc		2.7	1.1	9.2	14.0	17.8	
Bus diesel		0.1	0.1	0.4	1.2	1.1	
Camión Ben		13.6	10.3	31.2	3.7	2.0	
Camión D		0.4	0.2	1.5	4.3	3.7	
Procesos Industriales		3.8	2.9	8.9	1.0	0.6	
Residencias		49.6	80.6	6.7	14.5	2.0	
Calles y avenidas Pavimentadas		19.3	1.1	4.6	8.0	5.7	100
Sin pavimento							20 80
Total Ton/año		10 126	24 183	24 115	39 815	349 661	78 590

Tabla 3

Comparación de la incidencia de las principales fuentes sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos el Gran Santiago (Toneladas/Año)

		Partículas(PTS)<45U	SOx	NOx	HC	CO	Nºde fuentes
CALDERAS Y HORNOS	1976	2 136	11 244	2 292	276	510	937
	1980	1 371	4 568	1 295	123	365	1 062
	1984	2 368	12 005	1 144	462	4 082	1 350
INDUSTRIAS	1976	4 656	6 384	144	840	240	1 350
	1980	7 868	5 124	0	1 064	2 010	319
	1984	2 623	7 462	4	1 175	2 028	310
TRANSPORTE VEHICULAR	1976	780	1 536	11 076	35 196	193 740	218 000
	1980	1 150	2 371	11 682	16 918	179 616	300 000
	1984	3 243	4 417	21 389	30 847	322 599	402 856
TERMINALES DE TRANSPORTE	1976	-----	-----	96	36	120	82
	1980	11	25	169	348	731	68
	1984	14	20	161	347	739	1964
DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTIBLES	1976	-----	-----	-----	2 916	-----	163
	1980	-----	-----	-----	2 946	-----	194
	1984	-----	-----	-----	3 775	-----	-----
RESIDENCIAS	1976	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	1980	148	296	929	61	183	840 000
	1984	1 968	279	1 119	3 209	20 213	895 000

	1976	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CALLES Y	1980	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CAMINOS	1984	78 590	-----	-----	-----	-----	-----

Fuentes de información:

Año 1976 - INTEC. Programa para el control de la contaminación atmosférica en el área metropolitana.

Año 1980 – IASA: Fac. de Cs. Fís. Y Mat. U. de Chile: J. Escudero O. Sandoval. P.Uriksen U. y otros. Estudio de Impuestos a la Emisión de contaminantes de aire y agua en la Región Metropolitana.

Año 1984 – H. Sandoval L. P. Uriksen U y J. Escudero O. Resultados no publicados. Tomado de Sandoval, H. y R. asenio 1988.