

LA CONTAMINACION DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO

M. MARGARITA PRENDEZ B.

Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas
Universidad de Chile, Casilla 233, Santiago.

RESUMEN

En este trabajo se entrega una visión general del trabajo con material particulado suspendido en el aire. Sobre la base de los resultados obtenidos en el Grupo de Contaminación Atmosférica de la Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas, se discuten las normas de Calidad del Aire vigentes en Chile.

SUMMARY

This paper intends to give a general view of work done with suspended particulate matter. Based on the results obtained by the Air Pollution Team at the Faculty of Basical and Pharmaceutical Sciences, the current Chilean Standards for Air Quality are discussed.

INTRODUCCION

La atmósfera terrestre comprende 5 a 6 cuadrillones de toneladas de aire. El aire no puede ser incrementado, sino que es reciclado permanentemente. El viento, la lluvia y los cambios de temperatura se combinan para mantenerlo en movimiento y purificarlo.

Considerada a nivel mundial, la contaminación del aire no alcanza aún un efecto letal; no obstante las ciudades constituyen ya zonas críticas, y continúan emitiendo al aire cantidades crecientes de productos sólidos y gaseosos; en ellas, las concentraciones de contaminantes se incrementan día a día, afectando a todos los seres vivos que las integran.

DESARROLLO GENERAL

De acuerdo a la definición más ampliamente aceptada, la contaminación del aire significa la presencia en la atmósfera exterior, de uno o más contaminantes o combinaciones de ellos en tales cantidades y con tal duración que sean o puedan llegar a ser dañinos a seres humanos, plantas, vida animal o a la propiedad, o que sin razón interfieran con el comfortable goce de la vida y de la propiedad.

La contaminación del aire incluye humos, vapores, papel quemado, polvos, ho-

llín, tizne, gases, niebla, olores, calor, material particulado suspendido en el aire, materiales radioactivos, productos o compuestos químicos nocivos o cualquier otro material en la atmósfera externa. El citado conjunto de contaminantes se puede separar en dos clases: gases y material particulado (o aerosoles atmosféricos).

En este caso se considera solamente el material particulado; éste incluye partículas de sustancias sólidas y líquidas en un vasto rango de tamaños (0,001 - 100 μm) y formas, desde aquellas visibles hasta las microscópicas.

Es así que el particulado pueda ser tan fino como para permanecer en el aire por largos períodos y ser transportado por el viento a grandes distancias.

Un buen ejemplo lo constituyen las erupciones volcánicas cuyo particulado puede dar varias veces la vuelta a la tierra. Se citan las erupciones del volcán Krakatoa, del Santa Elena o más recientemente del Chichón (México).

Formando parte del material particulado y adsorbido o absorbido a él, es posible encontrar compuestos gaseosos y elementos traza, algunos de los cuales son tóxicos, como por ejemplo: los SO_x , los NO_x , ciertos hidrocarburos, Pb, Br, Be, As, etc. Estos compuestos y elementos están siendo emitidos cada día en mayor cantidad.

El material particulado se produce principalmente desde fuentes estacionarias de combustión de petróleo, procesos industriales, incendios forestales y algunas otras fuentes. En menor grado por fuentes móviles, tales como vehículos motorizados.

Las técnicas establecidas para el control industrial de emisión de partículas incluyen entre otros, procesos de filtración, centrifugación y precipitación electrostática. Sin embargo, la remoción de las partículas más finas resulta una operación tan difícil como costosa.

Desde un punto de vista global, el particulado no presenta problemas mientras pueda ser dispersado. Sin embargo, concentraciones muy altas o muy intensas pueden afectar el clima al alterar el albedo de la tierra y la altitud a la cual el calor se libera a la atmósfera.

A nivel local, el problema se agudiza en las ciudades altamente industrializadas o en ciudades en las cuales las condiciones meteorológicas impiden una adecuada dispersión de los contaminantes emitidos. Tal es el caso de Santiago, por ejemplo.

Como se muestra en la Fig. 1, existen clasificaciones de las partículas según su tamaño. Los llamados núcleos de Aitken, partículas de radio menor que 0,1 μm , resultan excelentes como núcleos de condensación para la generación de lluvia o niebla (fog). Estas partículas constituyen un buen índice del nivel de contaminación de un lugar. Es así que sobre los océanos sus concentraciones se encuentran entre 800 y 5000 parts./ cm^3 ; en cambio en las atmósferas urbanas sus valores son de 50.000 a 380.000 parts./ cm^3 .

Las partículas de bruma, en el rango del espectro visible (0,38 - 0,76 μm) deben su nombre al hecho físico de interferir la luz y facilitar la formación de bruma; sin embargo, el fenómeno de visibilidad es muy complejo y es afectado no sólo por el tamaño de las partículas, sino que también por su forma y superficie reflectante y refractante.

El polvo sedimentado está constituido por partículas de tamaño suficientemente grande como para que se deposite rápidamente. Se recoge mediante "jarras colectores" y se mide en unidades de mg/cm^2 por períodos de 30 días. Valores típicos en áreas urbanas son del orden de 1 $\text{mg}/\text{cm}^2 \times \text{mes}$.

El polvo suspendido está constituido por partículas de menor diámetro que el sedimentado y como tal permanece en el aire muy largo tiempo, cayendo solo muy lentamente por efecto de la fuerza gravitacional. Se mide en general en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

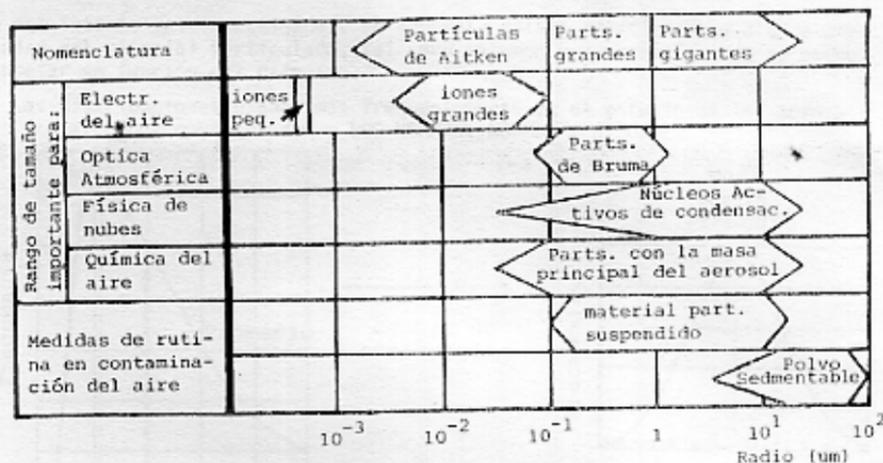


FIGURA 1. Nomenclatura de aerosoles naturales. Importancia del tamaño de las partículas para varios fenómenos atmosféricos.

La clasificación anterior se basa en las dimensiones de las partículas, asumiendo que el tamaño puede ser definido de manera precisa, lo cual se entrelaza también a una precisa definición de la forma. Por ejemplo: una definición usual del tamaño está basada en el radio o en el diámetro, pero cualesquiera de estos dos parámetros puede ser definido exactamente sólo para partículas esféricas o eventualmente cúbicas, pero nunca para partículas de forma irregular, como son por lo demás la mayoría de los aerosoles. El diámetro de partículas irregulares puede definirse en términos de la geometría de la partícula individual o en términos de sus propiedades físicas. En el primer caso se habla de diámetros "estadísticos", pues sólo adquieren significación cuando los valores medidos son un promedio estadístico sobre muchas determinaciones individuales.

Los diámetros definidos sobre la base de las propiedades físicas se determinan midiendo propiedades tales como la dispersión de la luz, las velocidades de sedimentación o la velocidad de difusión browniana.

El diámetro estadístico más usado es el que considera el diámetro de un círculo cuya área es la misma que el área proyectada por la partícula sobre una superficie. Esta definición es fácil de adoptar cuando se trata de partículas de forma regular, pero es casi imposible de usar cuando se trata de ciertos agregados, como por ejemplo los mostrados en la Fig. 2.

En estos casos es necesario considerar el "diámetro equivalente (d_e) que corresponde al diámetro de una esfera que tiene aproximadamente el mismo volumen que la partícula considerada. También es importante considerar el "diámetro aerodinámico", que es un diámetro equivalente al de una partícula esférica de densidad unitaria.

Es necesario considerar que en el trabajo con aerosoles atmosféricos es preciso utilizar concentraciones de partículas. Estas concentraciones se pueden definir en términos de número, volumen o masa de partículas y en términos de volumen o masa de gas. Pero, en ambos casos, es preciso asegurarse de que la información entregada sea suficiente para una interpretación cuantitativa adecuada. De esta forma, si la concentración se expresa en número de partículas

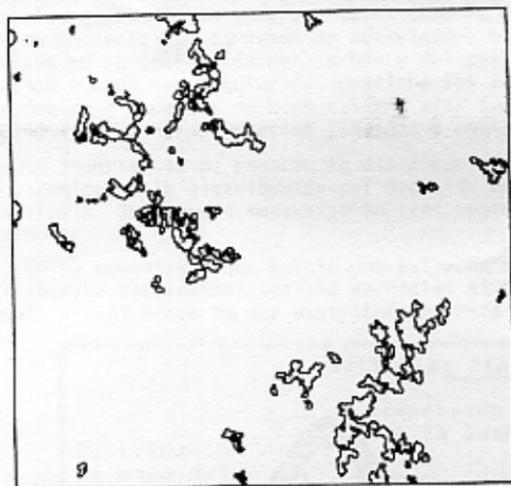


FIGURA 2. Agregados de aerosoles atmosféricos naturales.

en un rango determinado, es preciso especificar los límites de dicho rango; algo obvio, pero frecuentemente ignorado en la literatura.

Si las concentraciones se expresan en volumen de gas, digamos, de material particulado/m³, se debe dar la presión del aerosol, especialmente si las concentraciones se han recalculado para condiciones standard de presión y temperatura.

El conjunto de parámetros que se ha esbozado: tamaño, forma, densidad, concentración de partículas, etc., son importantes para poder describir el comportamiento del material particulado en la atmósfera y el método apropiado de recolección para su estudio.

Se ha encontrado que una distribución de tamaños típica para una muestra de aerosoles atmosféricos es de la forma ilustrada en la Fig. 3.

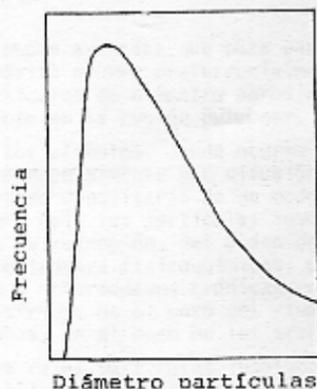


FIGURA 3. Distribución por tamaños típica para una muestra de aerosoles atmosféricos.

En una función de frecuencia como ésta, los parámetros estimados estadísticamente desde los datos entregados por las muestras, son la media y la varianza.

Por otra parte, la distribución de tamaños que se calcule o utilice, depende

rá del interés del investigador. En general, estará relacionada a alguna propiedad del material particulado, tal como volumen o superficie, que se pueda expresar en función del diámetro.

Las distribuciones usadas más frecuentemente en el estudio de los aerosoles atmosféricos corresponden a LOG-NORMAL, NORMAL y BIMODAL.

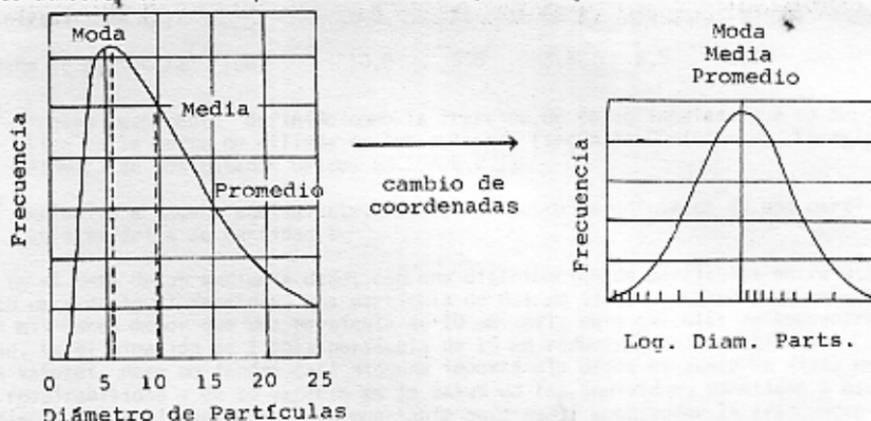


FIGURA 4. Distribución Log-Normal transformada a Normal por cambio de abscisa.

La distribución LOG-NORMAL es aquella que se manifiesta como una distribución "normal" sólo cuando se han tomado los logaritmos de los diámetros de partículas (Fig. 4). Así, el análisis de los datos obtenidos en muestreos experimentales puede efectuarse mediante una distribución acumulativa estandarizada (lineal) la que resulta así muy cómoda para trabajar porque entrega dos parámetros que permiten una buena descripción del aerosol: el diámetro de masa medio (DMM) y la varianza geométrica. El DMM es el diámetro que corresponde a la media geométrica de la distribución de diámetros. Se calcula como el diámetro al cual corresponde el 50% de la masa del aerosol estudiado. Esta representación lineal permite determinar directamente el porcentaje de masa de partículas con un diámetro menor que el DMM calculado. La varianza corresponde a la razón entre la probabilidad 84% y la 50% (Fig. 5).

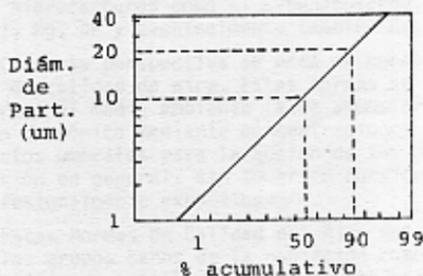


FIGURA 5. Distribución Log-Normal Acumulativa Estandarizada.

La distribución NORMAL no es tan frecuentemente usada, pero se aplica muy bien para aerosoles de condensación, los cuales son aproximadamente monodispersos.

En la distribución BIMODAL, se observan dos máximos (o dos modos) separados

por un valle intermodal. El modo de partículas de mayor tamaño contiene los aerosoles generados en procesos tales como la erosión eólica, la dispersión, la abrasión mecánica, derivada de actividades humanas y el llamado "fly ash", generado en la combustión del carbón y del petróleo. El modo de partículas pequeñas o modo de coagulación, contiene los aerosoles generados fundamentalmente debido a procesos de combustión a alta temperatura y a reacciones en fase gaseosa que generan especies líquidas o sólidas (Fig. 6).

La importancia de conocer la distribución por tamaños del aerosol atmosférico, reside en la distribución del depósito de estos aerosoles en el tracto respiratorio. Este puede separarse en tres regiones: nasofaríngea, bronquial y pulmonar.

Se ha encontrado que existe una estrecha correlación entre el depósito, en el aparato respiratorio, de los aerosoles atmosféricos inhalados y el diámetro medio aerodinámico de una distribución. Esta situación se ilustra en la Fig. 6.

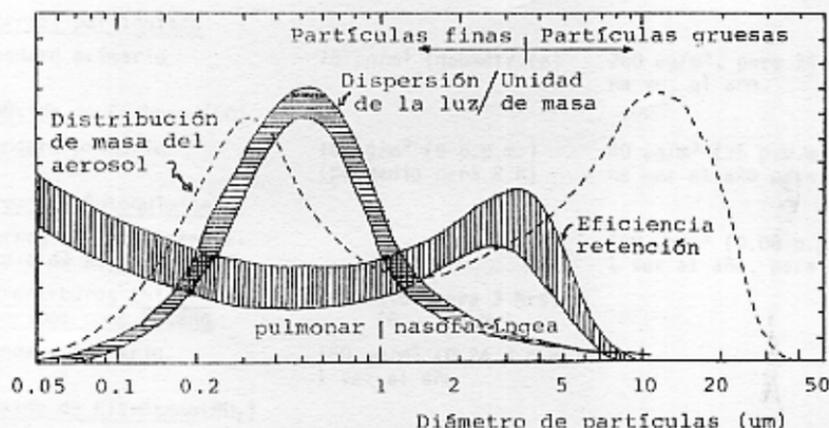


FIGURA 6. Distribución de la masa del aerosol, dispersión de la luz y eficiencia de retención.

Se puede apreciar que para partículas de diámetro aerodinámico mayor que 1, el depósito ocurre preferencialmente en la región nasofaríngea; en cambio, para partículas de diámetro aerodinámico menor que 1, tal depósito se produce básicamente en la región pulmonar.

En los alvéolos, donde ocurre el intercambio gaseoso, el depósito se efectúa fundamentalmente por difusión y/o por sedimentación. Por lo tanto, las partículas se depositarán de un modo bastante uniforme en una gran superficie, 70 a 80 m². Así, las partículas insolubles que aquí se depositen tendrán un largo tiempo de retención, del orden de meses o años, el que variará de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas. Es por ello que dichas partículas pueden asociarse a enfermedades crónicas, como la bronquitis. También pueden favorecer los resfríos, en el caso del ciudadano común, o la silicosis, pneumoconiosis o enfisemas, en el caso de los trabajadores profesionalmente expuestos.

Para estas partículas insolubles, con largos tiempos de retención pulmonar, se ha elaborado una tabla que relaciona en forma cuantitativa el diámetro aerodinámico de las partículas con su porcentaje de respirabilidad, mostrada en el Cuadro N° 1. Para ello se ha definido el "polvo respirable" como la fracción del polvo inhalado que se deposita en la parte no ciliada de los pulmones. Se ha hecho una corrección para el tamaño de las partículas por densidad (diáme -

tro aerodinámico) pero no por forma, y además se ha tomado como límite superior para partículas respirables nasalmente, un diámetro aerodinámico de 10 μm .

CUADRO N° 1: Porcentaje de respirabilidad⁽¹⁾ en función del tamaño de partícula.

Respirabilidad (%)	0	25	50	75	100
Tamaño de partícula ⁽²⁾ (μm)	10,0	5,0	3,5	2,5	2,0

(1) "polvo respirable" definido como la fracción de polvo inhalado que se deposita en la parte no ciliada de los pulmones (según la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos (U.S.A.E.C.)).

(2) relativo a tamaño equivalente, esto es diámetro aerodinámico de una partícula esférica de densidad 1.

En el caso de un ambiente dado, con una distribución de partículas entre 0,1 y 10 μm y de igual densidad, una partícula de 0,1 μm tiene una masa y un volumen mil veces menor que una partícula de 10 μm . Así, para cálculos de concentración, la eliminación de 1 sola partícula de 10 μm reducirá considerablemente los valores, pero no tendrá casi ninguna importancia desde el punto de vista de la respirabilidad y de su impacto en la salud de los individuos sometidos a ese ambiente. Esta situación es muy importante para poder comprender la trascendencia que tiene la adopción de normas adecuadas de protección de la Calidad del Aire.

El riesgo de inhalación de aerosoles atmosféricos tiene además del aspecto físico ya estudiado, un aspecto químico y fisicoquímico, que se refiere a la composición misma de los aerosoles. Se señaló en un comienzo que adsorbidos o absorbidos al material particulado, es posible encontrar compuestos gaseosos y elementos traza. Algunos de ellos son primariamente tóxicos y otros pueden llegar a serlo por reacciones o interacciones gas-partícula, con o sin influencia de las condiciones ambientales, tales como la humedad relativa, temperatura, irradiación solar, etc. Por este motivo es muy importante conocer el diámetro de las partículas sobre las cuales están adsorbidos o absorbidos los compuestos ya señalados. Si son partículas de pequeño diámetro, su solubilidad en fluidos del cuerpo y su toxicidad deberán ser adicionados a los peligros ya señalados para las partículas pequeñas insolubles o inertes.

Entre los compuestos y elementos señalados se encuentran por ejemplo, ciertos hidrocarburos como el α -benzopireno, los paracetil-nitrilo (compuestos tipo PAN), Hg, Be y eventualmente también Ba, Cd, V, Cu, Pb, Mn, Ni, Sn y Zn.

Con esta perspectiva se está en condiciones de analizar y discutir las normas de calidad de aire. Estas normas se han establecido con el objeto de resguardar el medio ambiente (aire atmosférico externo en este caso) del riesgo agudo o crónico mediante concentraciones máximas permisibles, que consideren los efectos umbrales para la acción de los diversos contaminantes, a nivel de la población en general; sin tomar en consideración el caso especial de los grupos profesionalmente expuestos.

Estas Normas de Calidad del Aire están establecidas para la protección tanto de los grupos sanos de la población como de los grupos susceptibles. Entre estos últimos se incluyen personas con enfermedades preexistentes, que podrían agravarse debido a ciertos niveles de contaminantes, como son por ejemplo, enfermedades crónicas obstructivas del pulmón y las enfermedades cardíacas.

Estado del Problema en Santiago

En Chile, el organismo encargado de la fijación de Normas de Calidad de la Vida, es el Ministerio de Salud. Para el caso de los aerosoles atmosféricos estas normas son las que se muestran en el Cuadro N° 2.

CUADRO N° 2. Normas para la calidad del aire vigentes en Chile.

<u>CONTAMINANTES</u>	<u>MEDIA ANUAL</u>	
<u>Material particulado</u>		
Standard primario	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (geométrica)	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para 24 h una vez al año.
<u>Monóxido de Carbono (CO)</u>		
Standard primario	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 p.p.m.) (promedio para 8 h)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 p.p.m.) una vez al año para 1 h.
<u>Oxidantes Fotoquímicos</u> (Corregido para interferencia de SO_2 y NO_2)		160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 p.p.m.) 1 vez al año, para 1 h.
<u>Hidrocarburos totales referidos como Metano</u>	Promedios para 3 hrs. (6 - 9 A.M.)	
Standard primario	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,24 p.p.m.) 1 vez al año	
<u>Dióxido de Nitrógeno (NO_2)</u>		
Standard primario	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,05 p.p.m.) (Aritmética)	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,15 p.p.m.) para 24 h. 0,4 p.p.m. para 1 h.
<u>Dióxido de Azufre (SO_2)</u>	<u>Media Aritmética</u>	
Método Pararosanilina		
Standard primario	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,03 p.p.m.)	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,14 p.p.m.) para 24 hrs. 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,1 p.p.m.) 1 vez al año para 3 hrs. No más de 1 vez al año, 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 p.p.m.)
<u>Elementos traza</u>	No hay normas establecidas.	

Los valores vigentes en Chile se refieren a masa total de material, sin tomar en consideración ni su distribución por tamaño ni su composición química; en consecuencia, sin tomar en consideración ni el riesgo de inhalación ni la permanencia del aerosol en la atmósfera. Por otra parte, el límite superior de corte para los equipos colectores está fijado en $45 \mu\text{m}$, lo que significaría que a una parte muy importante del material así colectado no le podríamos aplicar la tabla de respirabilidad. Estrictamente, el Ministerio de Salud no estipula un límite superior de corte, pero como trabaja con el sistema de la EPA

(Agencia de Protección del Medio Ambiente de los E.E.U.U.) debemos asumir dichos límites. En estas condiciones, las normas vigentes no permiten evaluar realmente el riesgo sanitario vinculado a los valores experimentales encontrados.

Como lo muestra el Cuadro N° 3, los datos experimentales tomados por el propio Ministerio de Salud, muestran en Santiago valores que habitualmente superan durante todo el año el límite de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio geométrico anual, con la sola excepción, en algunos años, de algunos meses de primavera o de verano.

CUADRO N° 3. Promedios mensuales y anual para polvo total suspendido. Estaciones S.N.S. en el período 1976 - 1981.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviemb.	Diciem.	Prom. Anual	Dev. Stan
2	147	186	266	292	267	309	302	273	194	179	155	152	227 ± 63	
4	133	---	233	213	234	311	342	257	106	110	128	126	201 ± 84	
5	158	165	230	283	309	368	357	301	184	174	156	164	237 ± 81	
6	198	---	194	235	199	298	301	241	152	132	133	155	203 ± 60	
10	200	206	244	350	241	303	288	275	225	105	193	162	239 ± 55	
11	177	229	260	361	351	398	214	325	156	---	207	196	263 ± 83	
12	324	---	349	475	341	408	339	289	260	254	277	228	329 ± 85	
13	193	265	254	374	273	366	337	265	169	155	194	155	250 ± 79	
14	129	---	193	186	133	216	167	135	116	120	150	157	155 ± 33	
15	257	272	339	401	303	357	317	310	203	223	279	316	298 ± 56	
16	---	116	214	---	97	141	---	107	135	117	85	174	112 ± 41	
Prom. mens.	192	206	254	319	250	323	296	253	173	165	178	181	230 ± 57	
Dev. Stand	60	56	52	89	81	92	61	70	47	48	60	52		

* No hay valores.

Por su parte, la norma de los $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ una vez al año, también es superada. Es así que valores de 300 a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ son frecuentes en los meses de invierno. Además en los últimos 5 años se ha encontrado que alrededor del 30% de las veces medidas, el valor es superior a la norma. Los valores exactos dependen de los sitios específicos muestreados.

¿Cómo poder entonces atacar el problema? Lo primero que es indispensable hacer es determinar cuál es el origen de este polvo suspendido. Para ello existen diferentes criterios de asignación de origen o de fuentes. Entre éstos señalaremos el cálculo de los factores de enriquecimiento (FE), el de los coeficientes de variación (CV), el de los coeficientes de correlación (CC) y el de los diámetros de las partículas (DMM). Ahora bien, los 3 primeros criterios son aplicables al polvo no fraccionado. Valores de los factores de enriquecimiento para polvo total y para polvo fraccionado se muestran en los Cuadros N° 4 y N° 5.

Los estudios efectuados en el Área Metropolitana, con material particulado total y fraccionado en diferentes sitios de muestreo, han permitido al grupo establecer una serie de hechos importantes, entre los cuales es indispensable señalar:

- La fracción de polvo natural representa en concentración absoluta alrededor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Los elementos antropogénicos y los elementos tóxicos o potencialmente tóxicos, muestran sus mayores concentraciones en los aerosoles de menor diámetro (menor de $1 \mu\text{m}$), por lo tanto de mayor respirabilidad.

CUADRO N° 4. Factores de enriquecimiento para algunos elementos presentes en polvo total suspendido de Santiago. Promedio para el período 1978 - 1980. Referencia Fe (2).

Estación (1)	Elem. origen natural		Elem. origen antrópico			
	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
1	0,8	2,2	6,0	50	118	623
2	0,8	2,3	6,6	95	120	489
3	0,7	2,2	7,3	44	114	360
4	1,0	2,3	10,3	61	152	456
5	0,5	8,6	8,6	74	177	629

(1) Red de muestreo: Grupo Contaminación Atmosférica. Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

(2) Fe corteza terrestre (Mason).

CUADRO N° 5. Factores de enriquecimiento para algunos elementos presentes en polvo inhalable de aerosoles atmosféricos de estación 2 (1). Promedio para el período 1980 - 1981. Referencia Fe (2).

Diámetro partícula (3)	Elem. origen natural		Elem. origen antrópico			
	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
2,92	0,8	1,7	6	26	109	169
2,12	0,8	2,1	28	51	232	581
1,48	0,8	2,9	62	78	324	1283
0,88	1,0	4,4	193	127	1061	3102
0,48	0,9	3,5	211	122	779	3292
< 0,48	1,0	4,6	449	209	520	7984

(1) Estación 2 del Grupo Contaminación Atmosférica. Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

(2) Fe corteza terrestre (Mason).

(3) Diámetro partícula: diámetro de corte efectivo 50%.

- Los elementos de origen natural y el polvo total natural se concentran en las partículas de mayor diámetro (mayor de 2 µm).
- Las concentraciones absolutas de polvo total son altamente dependientes del sitio de muestreo y de sus condiciones locales.
- La situación anterior es aún más marcada en el caso de los elementos traza presentes en los aerosoles.
- La asignación del origen de dichos elementos traza también es dependiente del sitio muestreado.
- Tanto las concentraciones de elementos traza, como las de polvo total, son mayores en el período de Otoño - Invierno que en el período Primavera-Verano.
- En cualquier época del año, las normas de material particulado vigentes en Chile, son habitualmente superadas.

Con esta información se está en condiciones de proponer algunas acciones que permitan disminuir la contaminación atmosférica por material particulado existente en Santiago y adecuar a la realidad del área metropolitana las normas de Calidad del Aire vigentes:

- A. Las concentraciones del Polvo Total en Suspensión en su fracción natural, podrán disminuirse mediante una intensa campaña de aumento de las áreas con cubierta vegetal. Esta acción es particularmente importante en el lado S y SW del área metropolitana, donde existen proporcionalmente un mayor número de sitios eriazos y calles no pavimentadas.
- B. Es preciso emprender también una intensa campaña de control de las actividades humanas que generan partículas de diámetro menor que $10 \mu\text{m}$, pues son ellas las que implican un riesgo sanitario evidente para la población. En este caso el control debe tomar en consideración 1°) la naturaleza de las fuentes emisoras: vehículos motorizados, calderas, incineradores, industrias, etc.; 2°) el tamaño de las partículas emitidas.

Una emisión antropogénica de partículas grandes ($2,5-10 \mu\text{m}$) es posible según las industrias y la posición geográfica de la zona. Entre estas partículas se encuentran las emitidas por calderas e incineradores, las partículas de asbesto, la arcilla, la piedra caliza, las partículas de goma, los compuestos orgánicos, los nitratos y los pesticidas. De esta forma, si bien estas partículas no son tan importantes en cuanto al impacto sobre la salud debido a su tamaño, sí lo son o pueden serlo por su composición química.

El control de la emisión de las partículas de la fracción gruesa es un problema que puede ser muy bien resuelto con medidas de control industrial y de salud ocupacional.

Con respecto a la fracción fina, son los vehículos motorizados, los que emiten en general partículas de diámetro menor de $1 \mu\text{m}$. A ellos se suman las industrias vinculadas a procesos de combustión, que si bien emiten en un cierto rango de partículas que depende de las industrias mismas, del procedimiento involucrado y de los métodos de control de contaminación que posean, en general emiten partículas de diámetros pequeños.

Las partículas finas al adsorberse o absorberse en los aerosoles, contienen además de los elementos traza ya mencionados, agua, sulfato de amonio, ácidos sulfúrico y nítrico, materiales carbonados, una variedad de compuestos orgánicos y nitratos, la mayor parte de las veces como consecuencia de las interacciones gas-partícula que ocurren en la atmósfera.

En consecuencia, para que las normas puedan considerar efectivamente los riesgos reales de salud de la población (evaluados mediante un patrón primario) así como también los del medio ambiente que nos rodea (evaluado mediante un patrón secundario) deben incluir un límite superior de corte no mayor que $10 \mu\text{m}$.

Las determinaciones del grupo a la fecha muestran que el polvo total en suspensión, con un límite superior de corte de $3 \mu\text{m}$, alcanza valores en el rango de $40-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en verano, o sea el período menos contaminado y valores hasta de 300 o más $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en invierno. El 30% de estos valores corresponde a polvo natural, con una toxicidad que depende de su tamaño y de los gases adsorbidos o absorbidos. El restante 70% contiene elementos traza de alta toxicidad Cd, Hg, Pb, etc., y sin duda también compuestos químicos tóxicos.

Con respecto a la concentración, es preciso hacer la siguiente consideración: el patrón primario actual es de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media geométrica. Esto equivale a grosso modo a una media aritmética de $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En estas condiciones las partículas con diámetro menor que $10 \mu\text{m}$ corresponden aproximadamente al 55% de la masa para partículas menores de $45 \mu\text{m}$. De modo que las concentraciones máximas permisibles serían de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio aritmético anual y $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$, máximo de 24 horas una sola vez al año.

Para poder ajustarse a esta norma habría que hacer muy serios esfuerzos para

el control de la contaminación. Esto conduce a una conclusión final patética. Santiago no sólo es una ciudad altamente contaminada por material particulado, sino que se encuentra por encima de los límites que resguardan de manera razonable la salud de su población. †

BIBLIOGRAFIA

1. Perkins, Henry C. "Air Pollution". International Student Edition. McGraw Hill Kogakusha Ltd. Tokyo, 1974.
2. Shaw, David T. Editor "Recent Development in Aerosol Science". John Wiley & Sons. New York, 1978.
3. Cadle, Richard D. "The measurement of Airborne particles". John Wiley & Sons. New York, 1975.
4. Liu, Benjamín Y.H. "Fine Particles. Aerosol Generation, Measurement, Sampling and Analysis". Academic Press, Inc., 1976.
5. Macias, Edward S. and Hopke, Philip K. "Atmospheric Aerosol. Source/Air Quality Relationships". ACS Symposium Series N° 167, American Chemical Society, 1981.
6. Silo, Catalina et al. "Informes de Contaminación Atmosférica, 1976-1981. Ministerio de Salud.
7. Trabajos del Grupo de Contaminación Atmosférica, Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile (1977 - 1982).