

¿QUE ES LA CONTAMINACION ATMOSFERICA?

Nadia Gamboa F.¹

El siguiente relato describe un episodio en la lucha por controlar la contaminación del aire. “La polución² del aire (debido al polvo y humo de la quema de madera y carbón) ha sido un problema ubicuo en áreas urbanas congestionadas desde tiempos antiguos. Empero, el primer acto de intervención de un gobierno no ocurrió sino hasta 1285, cuando el rey Eduardo I de Inglaterra respondió a una petición de miembros de la nobleza y otros, concerniente al molesto humo del carbón en Londres. El humo que salía por la combustión del carbón ha sido por largo tiempo un problema en Londres. La respuesta de Eduardo a la petición fue una que es ahora comúnmente practicada por los gestores gubernamentales de riesgo —él estableció una comisión en 1285 para estudiar el problema. En respuesta al informe de la comisión, muchas acciones del sector privado fueron tomadas, incluyendo una decisión voluntaria de un grupo de herreros de Londres en 1298 para “...no trabajar de noche a causa de la insalubridad del carbón y el daño a sus vecinos”. Estos esfuerzos voluntarios no fueron suficientes, sin embargo, y en 1307 Eduardo emitió una proclama real prohibiendo el uso de carbón en hornos. Un poco después de esto, Eduardo fue forzado a establecer una segunda comisión, cuya función principal era determinar por qué la proclama real no había sido acatada” [1].

-
1. PUCP, Departamento de Ciencias, Sección Química.
 2. Contaminación: alteración de la pureza de alguna cosa como alimentos, aguas, aire, etc. Polución: contaminación intensa y dañina del agua o aire, producida por residuos de procesos industriales o biológicos.

Este problema ha preocupado al hombre desde tiempos antiguos. Conviene, entonces, responder la pregunta que sirve de título a esta sucinta revisión bibliográfica. “La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de sustancias proyectadas allí por la actividad humana en tal calidad y concentración que puedan interferir con la salud y el bienestar del hombre, los animales o las plantas, o que puedan impedir el pleno uso y disfrute de la propiedad” [2]. O según un Comité de Expertos del Consejo de Europa: “Hay contaminación del aire cuando la presencia de una sustancia extraña, o una variación importante en la proporción de sus componentes, es capaz de (teniendo en cuenta el conocimiento científico del momento) provocar un efecto nocivo, un daño o una molestia” [3].

¿Cuáles son los contaminantes del aire y de dónde provienen? A las sustancias que son emitidas en forma natural por volcanes, incendios forestales, desgasificación de sedimentos anaeróbicos y suelo, se suman las provenientes de actividades antrópicas. La cantidad de sustancias que son eliminadas al aire, creyendo erróneamente que este cuerpo receptor posee una capacidad de dilución y/o absorción infinitas, es larga: vapor de agua, gases como óxidos de carbono (CO y CO_2), de nitrógeno (NO_x), de azufre (SO_x), hidrocarburos (CH_4), ozono (O_3), metales pesados, compuestos orgánicos nitrogenados o halogenados, partículas en suspensión capaces de adsorber en sus superficies una diversidad de moléculas sirviéndoles de transporte, etc. La mayoría de estos polutantes son muy antiguos, debido al uso de madera o carbón como fuentes de energía. Todos tienen una fuerte repercusión a mediano plazo en la salud de los habitantes (principalmente afecciones de tipo respiratorio e irritaciones en ojos) y a largo plazo, por la presencia de sustancias oxidantes que reaccionen fotoquímicamente contribuyendo a agravar el efecto invernadero o el adelgazamiento de la capa de ozono.

¿Cómo se distribuyen en la atmósfera estos polutantes? Cualquier contaminante, después de ser emitido, es transportado, transformado (si es posible) y depositado en el entorno. La dispersión juega un rol importante en el proceso, ya que la turbulencia atmosférica permite que la pluma se mezcle con el aire “limpio” que la rodea. Una pluma elevada puede bajar de manera que algunos de los polutantes primarios o secundarios³ pueden sufrir una sedimentación,

3. Contaminante primario es la sustancia eliminada directamente por la fuente. Si ésta sufre reacciones posteriores en la atmósfera, se habla de contaminante secundario, cuyo daño ecológico es diferente al del contaminante primario.

impactación o adsorción química [4]. Debe considerarse las fluctuaciones climatológicas y los vientos que pueden arrastrar las sustancias a otras zonas del planeta [5]:

Si el movimiento de las masas de aire no tiene restricciones en forma horizontal, los contaminantes se dispersan con gran facilidad. Sin embargo, los factores topológicos como valles, colinas y montañas pueden restringir el movimiento de las masas de aire. Estas pueden permanecer estancadas por horas e, incluso, semanas.

Cuando el aire cercano a la superficie terrestre se calienta, se hace menos denso, se eleva verticalmente y es sustituido por aire más fresco que proviene de regiones más altas de la atmósfera. Este movimiento vertical del aire puede dispersar los contaminantes hacia regiones más elevadas de la atmósfera. La masa de aire cercana a la superficie terrestre es más tibia y, a veces, alguna masa más fresca de aire entra a poca altura colocándose debajo de ésta. La capa de aire tibio queda atrapado entre la masa de aire fresco y el aire aún más fresco de las alturas; esto se conoce como **inversión de temperatura**. Una inversión de temperatura se puede producir dentro de una acumulación de aire lo cual daría origen a una masa de aire inmóvil, en donde se pueden acumular los contaminantes. Este fenómeno ocurre casi siempre de noche o en días soleados y sin nubes. Producida la inversión de temperatura, los contaminantes primarios quedan atrapados y se acumulan en zonas localizadas. Si ocurre en un día tibio y sin nubes, los contaminantes primarios pueden producir contaminantes secundarios en presencia de luz solar.

Con esta breve explicación se puede comprender el fenómeno conocido como **smog** [1]. El término es una amalgama de las palabras en inglés “smoke” y “fog”. Ocurre durante episodios de estabilidad de la atmósfera inferior que evita la mezcla de la masa de aire poluido de las capas bajas con el aire más limpio de una altitud mayor.

Hay dos tipos de smog [6]:

a. Smog reductor

Cuando es importante la polución con SO_2 . También es conocido como “smog tipo Londres”. Los contaminantes se acumulan en una masa de aire fresco, húmedo y estancado, característico de tipo invernal.

b. Smog oxidante

Cuando es importante la polución con hidrocarburos y NO_2 . Las inversiones de temperatura de la atmósfera son frecuentes y aparece en lugares soleados. También es conocido como “smog tipo Los Angeles” o “fotoquímico”. Los polutantes primarios emitidos son transformados mediante complejas reacciones fotoquímicas en polutantes secundarios, ozono y PAN⁴. Estos polutantes secundarios son más peligrosos para la gente y la vegetación.

Las características de estos tipos de smog se muestran en la Tabla 1 [6]. Se observa gran diferencia en cuanto a la temperatura y la humedad del ambiente requeridas para la formación de uno de los tipos de smog. Los órganos del cuerpo humano afectados son los mismos, variando únicamente la intensidad de la irritación. Lo interesante es que las principales fuentes de irritantes son por calefacción o por movilización vehicular, características propias del actual modo de vida.

Los polutantes más importantes son SO_2 , H_2S , NO_x , NH_3 , CO , CO_2 , CH_4 , PAN, hidrocarburos, Hg, partículas con diámetro menor que $1 \mu\text{m}$. Estas partículas se comportan aerodinámicamente como los gases y quedan suspendidas en la atmósfera por largo tiempo. Se incluye polvos minerales silíceos o que contienen As, Pb, Cu, Ni, etc., aerosoles orgánicos emitidos como humo durante las combustiones, e hidrocarburos condensados de alto peso molecular, como los aromáticos policíclicos [1]. Los óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, así como los hidrocarburos, son considerados contaminantes primarios según la EPA⁵.

Las gotas de lluvia o la neblina conducidas por el viento y que contienen los contaminantes pueden depositarse sobre la vegetación. Algunas plantas son muy sensibles a algunos contaminantes, mientras que otras se han adaptado convirtiéndose en muy tolerantes, como por ejemplo, *Ligustrum vulgare*, *Platanus acerifolia*, *Acer platanoides* y *Ailanthus altissima* [6]. Además, en la Tabla 2 se da algunos ejemplos de plantas sensibles y resistentes frente a determinados rangos de concentraciones de las sustancias polutantes [7]. En

4. Nitrate de peroxiacetilo.

5. Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency).

Tabla 1. Principales tipos de smog [6]

Característica	Tipo Londres	Tipo Los Angeles
cuando se producen las intensidades máximas	temprano en la mañana, en el invierno	cerca del mediodía
temperatura ambiente	1,1 - 4,4 °C	24 - 32 °C
humedad	húmedo y nublado	poca humedad
inversión térmica	cerca del suelo	en la parte superior
produce irritación principalmente en:	bronquios y pulmones (también ojos)	ojos (pero también bronquios y pulmones)
principales irritantes	hollín y otras macropartículas, SO _x	O ₃ , PAN, aldehídos, NO _x , SO ₂ , macropartículas (a veces CO)
principales fuentes de irritantes	hogares de carbón	tránsito de vehículos
otros efectos	bruma espesa	bruma, daños graves a cultivos, pinos y adornos, rajaduras en el hule

algunos casos la identificación de la vegetación en zonas de estudio ambiental puede sugerir el polutante presente.

Tanto las plantas como los animales son afectados por los contaminantes (primarios o secundarios). Pero es obvio que el objetivo fundamental del control de la contaminación atmosférica es la protección de la salud de los humanos. Los efectos son principalmente sobre las vías respiratorias y, en el caso del monóxido de carbono, son específicos al sistema nervioso. En este último caso, la coordinación del CO al centro metálico de la hemoglobina llega a ser 200 veces más favorable que con respecto a la molécula de oxígeno. En la Tabla 3 se resume algunos efectos que ocasionan los polutantes más importantes y las concentraciones asociadas [5].

Tabla 2. Ejemplos de polutantes tóxicos para las plantas [7]

Polutante	Nivel tóxico (ppm)	Plantas indicadoras	
		Sensibles	Resistentes
SO ₂	0,1 - 3,0	calabaza, cebada, alfalfa, algodón, trigo, manzana	papa, cebolla, maíz, arce, mayoría de árboles
F	0,0001	gladiolo, tulipán, ci-ruela, albaricoque, pino	alfalfa, rosa, tabaco, tomate, algodón
O ₃	0,15	tabaco, tomate, haba, espinaca, papa	menta, geranio, zanahoria, gladiolo, pimienta, haba
smog oxidante	0,2	petunia, lechuga, ave-na	repollo, maíz, algodón, trigo, pensamiento

Las macropartículas mencionadas en la Tabla 3 son contaminantes primarios y a ellas se debe el aspecto nebuloso y brumoso del aire contaminado. La composición es variada y compleja: algunas toman la forma de aerosoles y aparecen como rocío o niebla, mientras otras adquieren forma de humos, polvo o cenizas ligeras. Pueden ser un conglomerado de Al, Ca, Fe, Pb, Mg, Na, nitrato, sulfato, cloruro, compuestos orgánicos y ácidos sulfúrico y nítrico.

La EPA estableció en la década de los años setenta los límites permitidos de exposición de humanos a estos polutantes. Estos estándares son modificados según el avance de los conocimientos y el desarrollo de las técnicas instrumentales. En la Tabla 4 aparecen algunos de ellos [3,5,7], aunque deben ser tomados cautelosamente, ya que algunos pudieran haber sido modificados últimamente.

La preocupación del hombre por el estado del medio ambiente ha ido en aumento, más cuando en algunos casos se corrobora que el daño es severo o irreversible. Esta preocupación no debe ser solamente una reacción de defensa, debe ser un estilo de vida. El mal o daño es una realidad tangible, perceptible a la vista y al olfato o, en determinados casos, imperceptible a los sentidos; sin embargo, hay soluciones que demandarán tiempo y paciencia, cambios en actitudes y pensamientos, y elaboración de una estrategia adecuada. Es una

Tabla 3. Efectos de los principales polutantes en la salud humana [5]

Polutante	Concentración	Efecto
CO como COHb (%) ⁶	< 1,0	ningún efecto aparente
	1,0 - 2,0	cierta evidencia de efecto en la conducta
	2,0 - 5,0	efectos en el sistema nervioso central, incapacidad para determinar o distinguir intervalos de tiempo, fallas en la agudeza visual, en la discriminación de la brillantez y algunas otras funciones motoras
	> 5,0	cambios funcionales cardíacos y pulmonares
	10,0 - 80,0	dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte
SO ₂ (ppm)	1 - 6	causa broncoconstricción
	3 - 5	concentración mínima para olor detectable
	8 - 12	se inicia la irritación de la garganta
	20	se inicia la irritación en los ojos y tos
	50 - 100	máxima concentración para una exposición corta (30 minutos)
	400 - 500	puede ser mortal, incluso en una exposición breve
NO _x (ppm)	1 - 3	concentración mínima para que su olor sea detectable
	13	inicia la irritación en nariz, garganta y ojos
	25	causa congestión y enfermedades pulmonares
	100 - 1000	puede ser mortal, incluso tras una breve exposición
O ₃ (ppm)	0,02 - 0,05	concentración mínima para que tenga un olor detectable

(continúa)

6. COHb: carboxihemoglobina.

Polutante	Concentración	Efecto
	0,03	se inicia la irritación de nariz y garganta
	1 - 3	causa fatiga, dolor de cabeza y pérdida de la coordinación
	9	causa congestión y enfermedades en los pulmones
	15	puede ser mortal, incluso tras breve exposición
macropartículas (diámetro, μ)	0,5	quedan atrapadas en la nariz y garganta
	1,0 - 5,0	quedan en parte en los pulmones
	submicrónicas	peligrosas, van a los alvéolos pulmonares

cuestión de prioridades, y la prioridad número uno es clara: la conservación del gran ecosistema Tierra.

Algunas acciones tendientes a mitigar los efectos dañinos a la salud humana y a los ecosistemas han sido propuestas y ejecutadas [6]:

1. Construcción de chimeneas más altas (“la dilución es la solución para la polución”).
2. Cambio a hidrocarburos “más limpios”, como metano y petróleo
3. Centralización de la producción de energía
4. Eliminación de polutantes provenientes de los gases de desecho antes de que sean arrojados a la atmósfera.

Pero, eliminar los polutantes a mayores alturas no es el remedio y el empleo de combustibles fósiles agrava aún más la situación. La estrategia que se emplee debe ser idónea, eficaz y eficiente.

Otra fuente bibliográfica [5] sugiere siete acciones para controlar la contaminación del aire:

1. Sustitución del combustible
2. Cambios en el proceso para minimizar la emisión
3. Eliminación de las emanaciones de contaminantes
4. Sustitución del proceso con alternativas menos contaminantes

Tabla 4. Límites permitidos de contaminantes según EPA [5], Clean Water Act [7] y OMS/EURO⁷ [3] (a=EPA; b = Clean Water Act; c = OMS/EURO)

Sustancia	Norma
CO	concentración máxima 8 h (a,b,c): 10 mg/m ³
	concentración máxima 1 h (a,b): 40 mg/m ³ (c): 30 mg/m ³
	concentración máxima 30 min (c): 60 mg/m ³
	concentración máxima 15 min (c): 100 mg/m ³
SO _x	promedio diario anual (a,b): 80 µg/m ³ (c): 50 µg/m ³
	concentración máxima 24 h (a,b): 365 µg/m ³ (c): 125 µg/m ³
	concentración máxima 1 h (c): 350 µg/m ³
	concentración máxima 10 min (c): 500 µg/m ³
NO _x	nivel anual promedio (a,b): 100 µg/m ³
	concentración promedio 24 h (c): 150 µg/m ³
	concentración máxima 1 h (c): 400 µg/m ³
hidrocarburos	concentración máxima 3 h (a,b): 160 µg/m ³
macropartículas	promedio anual (a,b): 75 µg/m ³
	concentración máxima 24 h (a,b): 260 µg/m ³
	conc. total promedio 24 h (c): 120 µg/m ³
	conc. prom. 24 h; diámetro < 5µ (c): 70 µg/m ³
oxidantes fotoquímicos ⁸	concentración máxima 8 h (c): 150-200 µg/m ³
	concentración máxima 1 h (a,b): 160 µg/m ³ (c): 100 - 120 µg/m ³

7. Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud para Europa.

8. Ozono y PAN.

5. Reubicación de fuentes estacionarias
6. Cambios en medios de transporte
7. Cambios en procedimientos de usos del suelo.

En ellas se considera además otros factores contaminantes del aire, como las sustancias o las técnicas empleadas en las labores agrícolas y las fuentes difusas.

El esfuerzo para mantener el aire en las ciudades lo menos contaminado posible es algo común a todas las naciones del planeta. Dependiendo de cuán agudo sea el problema, la situación podría ser de emergencia. Tal es el caso de ciudades como México, Tokio, Los Angeles y Santiago de Chile. En todos estos casos, las medidas tomadas son en extremo rigurosas: restricción vehicular, fuerte control fiscalizador de las emisiones gaseosas de las industrias, restricciones en la calefacción de los hogares con madera o carbón, etc., pero no hay que esperar a que las ciudades alcancen estos niveles peligrosos de contaminación. Una adecuada política ambiental y la educación de los pobladores puede evitar problemas mayores.

El espacio es breve para poder explicar en detalle toda la problemática asociada a la contaminación atmosférica. Sin embargo, el objetivo de este trabajo se verá satisfecho si puede contribuir a crear una conciencia de protección de nuestro medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Paustenbach, D. (Ed.) (1989) **The Risk Assessment of Environmental Hazards**. Wiley Interscience Publishers. Estados Unidos
2. Bloomfield, J. (1964) **Introducción a la Higiene Industrial**. Edit. Reverté S.A. México.
3. Sandoval, H. (1991) **La Contaminación del Aire y Sus Efectos Sobre la Salud**. CEPAL/PNUMA LC/R. 1025. Chile.
4. Smith, B. (1991) **Production and Deposition of Airborne Pollution**. In: Report N° 18 -Air Pollution, Acid Rain and the Environment. The Watt Committee on Energy. K. Mellanby (Ed.). Elsevier Applied Science. Estados Unidos.
5. Dickson, T. (1980) **Química - Enfoque Ecológico**. Ed. Limusa. México.
6. Freedman, B. (1989) **Environmental Ecology**. Academic Press, Inc. Estados Unidos.
7. Anderson, S., Beiswenger, R. and P.W. Purdom (1987) **Environmental Science**. Merrill Publishing Co. Estados Unidos.