

## Contaminación atmosférica y nieblas en las áreas urbanas industrializadas

por Luis M. ALBENTOSA SÁNCHEZ

Dpto. de Geografía, Universidad de Barcelona.

### ABSTRACT

The industrialised urban areas present clear climatic contrasts with respect to the surrounding areas. One of the most noticeable peculiarities is the higher frequency and larger duration of fogs. This behaviour is the result of several factors: 1) The town itself is constructed on a rock substratum (differences in the specific heat) with a high density of building, that act as generators and accumulators of heat, while at the same time reducing the velocity of regional wind, and increasing the local turbulence. 2) There are several focal points of emission of particles (heating, motor-engines, industry), most of which behave as a hygroscopic nucleus. 3) As a result the highest temperature gives rise to a «thermal island», where some light upward movements carry the pollution over the town, and form the «dust umbrella» phenomenon that reduces the insolation. 4) The situation of vertical stability, with an inverted layer at a low level that limits the rise compresses the pollutant mass against the town, so that only a change in the weather which renews the air allows the situation to change.

The frequency and duration of fogs and smogs increases during winter, because the above mentioned factors are more significant.

### RESUMEN

Las áreas urbanas industrializadas presentan claros contrastes climáticos respecto a las áreas periféricas. Uno de los aspectos de singularización más visibles y claros es la mayor frecuencia de nieblas, así como una más elevada persistencia. Este comportamiento resulta de la actuación de varios factores: 1) La propia ciudad está constituida por un sustrato rocoso (diferencias en el calor específico), con una elevada densidad de edificios, que se comportan como generadores y acumuladores de calor al tiempo que reducen la velocidad de los vientos regionales e incrementan la turbulencia local. 2) Aparecen múltiples focos de emisión de partículas (calefacción, motorización, industrias), buena parte de las cuales se comportan como núcleos higroscópicos. 3) Como consecuencia de las temperaturas más elevadas se origina una «isla térmica», en cuyo seno tienen lugar ligeros movimientos ascendentes que elevan sobre la ciudad los elementos contaminantes, formando la «cúpula de polvo», fenómeno que reduce la radiación solar incidente. 4) Las situaciones de estabilidad vertical, con una capa de inversión a escasa altura limita la ascendencia, comprimiendo a la masa contaminada contra la ciudad, de tal manera que sólo un cambio de tiempo que renueve el aire permite el camino de situación.

Las nieblas y «smogs» aumentan su frecuencia y permanencia durante el invierno, debido a que durante esta época los factores apuntados se desarrollan con mayor rigor.

La contaminación no es un fenómeno reciente; se remonta a las épocas protohistóricas y, desde entonces, está particularmente relacionado con el hecho urbano y las actividades económicas. En Francia, en 1382, un decreto de Carlos IV prohibía la emisión de humos «nauseabundos y malolientes» en la ciudad de París. De todos modos, la contaminación se convierte en problema grave en el siglo XIX, paralelamente al desarrollo de la urbanización y la industrialización. Estos procesos han alcanzado una particular importancia durante

los últimos decenios en los estados más desarrollados. En estos el aumento de la producción industrial y del tráfico rodado va acompañado del vertido al aire de importantes cantidades de humos, gases tóxicos y de otros elementos extraños a la composición normal del aire atmosférico; se trata de la llamada contaminación tecnógena.

La inyección a la atmósfera de elementos extraños supone unas modificaciones no sólo en su composición, sino también en su naturaleza física. Estas modificaciones se reflejan en su comportamiento y, por consiguiente, en el tiempo atmosférico y en el clima. En este trabajo se planteará la incidencia que la contaminación tiene en el origen y persistencia de las nieblas, sin duda una de las relaciones más claras. Sin embargo, las deficiencias que se aprecian en los registros de este elemento del clima, de observación directa, impide que se llegue a resultados muy concluyentes.

En los apartados siguientes se analizarán la turbidez de la atmósfera y la estructura y naturaleza de la ciudad como factores que favorecen el origen y persistencia de la contaminación. Finalmente, se planteará la relación niebla-contaminación.

### LA TURBIDEZ DE LA ATMÓSFERA

Las partículas que contiene la atmósfera en suspensión pueden ser debidas a fuentes naturales o artificiales, es decir, resultantes de actividades del hombre; pero, en este trabajo, debido a la escala del mismo, nos ocuparemos únicamente de las últimas.

Las partículas debidas a la actividad del hombre resultan fundamentalmente de las combustiones. La concentración de estas fuentes y el índice de participación de cada una de ellas varía de unas ciudades a otras. Los automóviles pueden incidir entre un 35 y 55 %, las calefacciones entre un 10 y 20 %, y las industrias entre el 15 y 35 %. En líneas generales se puede decir que en España la incidencia de las calefacciones es muy pequeña, alta la de los vehículos y tan alta o más la de la industria, y, dentro de este grupo los focos principales son las instalaciones de combustión. Por su parte, Barry y Chorley (1972) han calculado que, mientras el 80-90 % del humo de Londres es producido por las chimeneas de las casas, éstas son responsables tan sólo del 30 % del anhídrido sulfuroso; y el resto se debe a las centrales de suministro de energía

eléctrica y a las fábricas que emiten por término medio un 41 % y un 29 % respectivamente.

También son fuentes importantes de partículas las reacciones químicas entre el nitrógeno, el oxígeno y el vapor de agua, y elementos de gases como dióxido de azufre, cloro, amoníaco, ozono y óxidos de nitrógeno. En estos casos las partículas sólidas pueden desempeñar un papel importante absorbiendo los gases y el vapor de agua y concentrando así las sustancias que pueden hallarse en solución. La actividad industrial moderna, como se ha destacado anteriormente, origina la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de aerosoles. Goldberg (1978) ha calculado que la cantidad de aerosoles que pasan a la atmósfera como resultado de las actividades del hombre se eleva a unos 200 millones de Tm. por año. La permanencia media de estas partículas en la atmósfera es muy variable; además del tamaño de las mismas influye el tipo y régimen de precipitaciones. Según Mitchell (1970) la permanencia media es de unos 36 días. De esta manera, partiendo de las estimaciones de Goldberg (1978), en cualquier momento puede haber en la atmósfera unos 2 millones de Tm. de polvo.

La concentración de partículas en suspensión constituye un índice de notable interés en el estudio de la contaminación. El número de partícula en suspensión por unidad de volumen en una atmósfera contaminada puede ser muy grande. Incluso en aires relativamente limpios puede haber centenares de miles de partículas de aerosoles por litro. Y, en casos extremos, como en el de las nieblas contaminadas, el número de partículas de  $0,5 \mu$  de diámetro se eleva a unos 2 millones por litro (Katz, 1965). Es decir, se aprecian importantes variaciones en la concentración de partículas. En general los valores de concentración de aerosoles se escalonan desde menos de 10 millones de partículas por  $m^3$  en una atmósfera normal a 2.000 millones por  $m^3$  e incluso más en aglomeraciones industrializadas. El número medio de partículas de Aitken es de 10.000 millones por  $m^3$  en los aires más puros de las áreas de montaña, y se eleva a 5 billones por  $m^3$  en las grandes ciudades industrializadas norteamericanas (Schaeffer, 1970).

Las variaciones de la concentración están, con frecuencia, estrechamente relacionadas con las situaciones meteorológicas y las costumbres del hombre. De las observaciones realizadas en muchas ciudades se deduce que tiene lugar un ciclo diario con un ritmo diurno caracterizado por un máximo entre las 8 o 9 horas, y otro entre las 20 y 22 horas. Este ritmo depende del calentamiento y enfriamiento del sustrato y de la turbulencia de la atmósfera (Katz, 1952-65). También se observan en algunos casos variaciones en relación con la época del año.

La mayor concentración de humo y partículas tiene lugar cuando la atmósfera presenta estabilidad vertical y un nivel de inversión térmica cerca de la superficie que actúa de auténtica tapadera respecto a las ligeras ascensiones que puedan producirse. En estas situaciones la turbulencia vertical es débil; si la concentración de partículas es elevada depende casi exclusivamente del calor generado por la propia ciudad. Durante el grave episodio de contaminación atmosférica que sufrió Londres, entre el 3 y 10 de diciembre de 1952, sometido a una situación anticiclónica con inversión térmica, la media diaria de las cantidades de partículas finas contenidas en la atmósfera alcanzó un máximo de  $4,46 \text{ mg por } m^3$ , lo que equivale a unas catorce veces el valor registrado al día siguiente del periodo señalado (National Smoke Abatement Society, 1953). La cantidad media de polvo en el aire de las

ciudades de EE.UU. está comprendida entre  $0,06$  y  $0,1 \text{ mg por } m^3$ .

Por el contrario, en situaciones de inestabilidad atmosférica, durante las cuales nunca se alcanza el grado de gravedad de las anteriores, los vientos ascendentes y las advecciones transportan los contaminantes desde las áreas de emisión hacia niveles más elevados o hacia otras áreas respectivamente; en el segundo caso se desplaza el problema en el sentido de los vientos, aunque evidentemente muy suavizado por la mayor difusión.

La presencia de partículas en la atmósfera es muy importante puesto que intervienen en los procesos de condensación; buena parte de estos elementos se comportan como núcleos higroscópicos. La concentración de dichos núcleos, según Barry y Chorley (1972), es como promedio de  $9.500$  por  $cm^3$  en la campiña británica, pero en las ciudades generalmente es de unos  $150.000$  por  $cm^3$  y puede alcanzar los 4 millones por  $cm^3$ .

## LA ESTRUCTURA Y NATURALEZA DE LA CIUDAD COMO FACTORES QUE SINGULARIZAN EL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN

La misma área urbanizada es responsable de las diferencias que en la contaminación se aprecian entre la ciudad y el campo periférico. Estas diferencias no sólo resultan del carácter de importante fuente productora de contaminantes con focos múltiples y variados, sino también de los rasgos originales que imprime en el tiempo atmosférico y en el clima. Se ha de tener presente que la masa compacta de edificios y pavimento constituye una alteración profunda del paisaje natural. Cabe destacar cinco aspectos fundamentales que explican la singularidad de los climas de las áreas urbanas con respecto a los de las periféricas:

1.º) Existe una gran diferencia en los materiales de superficie; en la ciudad predominan los elementos rocosos que conducen el calor con un tiempo tres veces menor que los suelos húmedos o arenosos del campo; es decir, existe una notable diferencia en el calor específico de ambos sustratos. Este aspecto facilita el desarrollo de la turbulencia sobre la ciudad y, por tanto, la ascendencia y permanencia sobre ella de los elementos contaminantes.

2.º) Las estructuras de las áreas urbanas presentan una mayor variedad de formas y orientaciones que los paisajes naturales. Esto supone una diferencia en los procesos de reflexión y absorción de la radiación solar, una reducción en la velocidad de los vientos y un incremento de la turbulencia. Por tanto, este aspecto refuerza al anterior.

3.º) Las áreas urbanas son generadoras de calor, sobre todo en invierno, cuando los sistemas de calefacción entran en funcionamiento. Al mismo tiempo se ha de tener presente que, debido a la densidad de edificaciones, estas áreas se comportan también como acumuladoras de calor. Como consecuencia se establece un claro gradiente térmico entre la periferia y el área urbana, que en el caso de las grandes metrópolis queda reflejado con la formación de auténticas «brisas urbanas». Además, en el área de confluencia de estos vientos convergentes suelen producirse movimientos ascendentes que elevan y mantienen en suspensión los elementos contaminantes.

4.º) Estas áreas disponen de diferentes sistemas de drenaje para eliminar el agua de la precipitación; en el campo parte del agua de superficie se evapora, lo que supone un proceso de

enfriamiento. Este aspecto acentúa el gradiente térmico y origina una diferencia de humedad entre la ciudad y el campo en favor de este.

5.º) El aire de las áreas urbanas, particularmente las industrializadas, como se ha apuntado anteriormente, contiene importantes cantidades de contaminantes; en particular, abunda el humo, el polvo, el anhídrido sulfuroso y otros gases debidos a la combustión. Los efectos que pueden ejercer estas partículas son muy variados y, con frecuencia, complejos. Algunos elementos como el anhídrico carbónico, al igual que el ozono y el vapor de agua, tienen la propiedad de absorber las radiaciones de onda larga, procedentes de la tierra, se comportan como elementos «calentadores», ejerciendo el efecto de «invernadero». Otros, como las partículas sólidas, absorben o reflejan parte de la radiación solar y se comportan como elementos «enfriadores». Finalmente, las elevadas concentraciones de cuerpos higroscópicos facilitan la formación de nieblas, nubes e incluso de precipitaciones.

Como la atmósfera constituye una realidad física, de tal manera que todos los procesos que en ella se producen están unidos por una relación de causa a efecto, se puede concluir que todos los factores apuntados contribuyen al desarrollo de un comportamiento original de la atmósfera sobre las ciudades. Estos factores originan modificaciones termodinámicas de carácter local, modificaciones que se manifiestan en el tipo de tiempo y, por consiguiente en el clima.

## LA NIEBLA Y LA CONTAMINACIÓN

Sin duda uno de los elementos del clima que con mayor frecuencia se ha puesto en relación con la contaminación es la niebla; en varios trabajos se ha demostrado que en zonas contaminadas ha aumentado la frecuencia de nieblas, siendo además más persistentes que las formadas sobre áreas no contaminadas.

La niebla consiste en una suspensión de gotas de agua en el aire; por tanto, constituye un proceso de condensación. Este tiene lugar bajo circunstancias cambiantes, normalmente relacionadas con las variaciones de volumen del aire, la temperatura, la presión o la humedad. Siempre que se altere el equilibrio entre una o más de estas variables independientes puede producirse la condensación. Ahora bien, es muy importante destacar que la condensación se produce con mucha mayor dificultad en el aire «limpio»; desde Coulier, Mascart, y sobre todo Aitken, que realizaron experimentos de laboratorio, se ha comprobado que la condensación no tiene lugar si se trabaja con aire previamente filtrado. El vapor de agua, por regla general, debe encontrar una superficie adecuada sobre la que pueda condensarse. En realidad, la condensación se inicia sobre partículas higroscópicas antes de que el aire haya alcanzado el estado de saturación.

Neuberger y Gutnik (in Ross, 1974) han llevado a cabo una serie de experimentos de laboratorio en los que estudiaron las características de las nieblas como función de la concentración de los núcleos de condensación. Llegaron a establecer dos leyes que facilitan la explicación del proceso de formación y evolución de las nieblas sobre las áreas urbanas industrializadas. En primer lugar concluyeron que la densidad de la niebla en el momento de la formación inicial de núcleos de condensación aumenta desde una atmósfera limpia (1.000 por ml) a moderadamente contaminada (70.000 por ml), pero un aumento posterior de los núcleos de conden-

sación no influye para que la niebla sea más densa. En segundo lugar, la duración de la niebla aumenta continuamente conforme se incrementa la concentración de núcleos. Esto se atribuye a un tamaño inicial más pequeño de las gotitas de agua y a una menor proporción de coalescencia para las concentraciones más altas de núcleos, puesto que, según Neuberger y Gutnik, en la cámara se disipa la niebla por asentamiento gravitacional.

Las nieblas en masas de aire contaminado están compuestas por gotitas de agua conteniendo varias sustancias químicas disueltas; estas sustancias originan que las gotitas permanezcan líquidas en condiciones de subsaturación en comparación con las gotitas de agua de la niebla formada en zonas no contaminadas.

Las nieblas más frecuentes y persistentes de las áreas urbanas industrializadas están relacionadas con las elevadas concentraciones de núcleos de condensación, que producen una niebla de gotitas de agua de pequeño tamaño. La estrecha relación existente entre el aumento de frecuencia de días de niebla y el crecimiento industrial y urbano queda claramente sintetizado en la ciudad de Praga, donde el promedio anual de días se elevó desde 79 durante el periodo 1860-80, a 217 entre los años 1900-20 (Barry & Chorley, 1972). Ahora bien, la distribución del incremento del número de días de niebla en el curso del año no es uniforme. Según Mac Donald (1971), las áreas urbanas presentan con respecto al campo periférico un incremento de días de niebla del orden del 30% en verano y del 100% en invierno.

La mayor frecuencia de nieblas durante el invierno está en relación con la mayor reducción relativa de luz solar. Sin embargo, no se puede decir que la mayor frecuencia de nieblas explica la reducción total de luz solar. Como dice Lowry (1975), se produce un proceso de *geat-back*. Una vez se ha formado la niebla, la superficie superior de la misma refleja la radiación y sólo una pequeña proporción alcanza la superficie. De esta manera la niebla tiende a mantenerse hasta que cambia el tiempo atmosférico.

Las bajas temperaturas registradas como consecuencia de las coladas de aire polar frío o ártico explican también el aumento de la frecuencia de días de niebla durante el invierno. En efecto, durante y a continuación de un tipo de tiempo de advección fría, se produce un aumento del consumo de combustible en los sistemas de calefacción. Este proceso supone la emisión a la atmósfera de partículas (parte núcleos higroscópicos) y vapor de agua, que, al estar el aire estancado, favorecen la formación de nieblas. Pero, debido a que el agua está repartida entre un gran número de núcleos, el aire contiene una gran cantidad de pequeñas gotas de agua, generando una niebla persistente que retrasa el calentamiento de la ciudad por la acción de la radiación solar. Esta situación hace necesaria el uso de la calefacción, con lo que sólo un cambio de tiempo puede modificar la situación.

## LAS NIEBLAS CONTAMINADAS

Como se ha destacado anteriormente el aire de las áreas urbanas se diferencia del que cubre las áreas rurales periféricas en que contiene una importante cantidad de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos. Aproximadamente un 80% de los poluentes sólidos corresponden a pequeñas partículas que se pueden mantener en suspensión en una atmósfera en calma durante muchos días. De esta manera, después de un periodo de emisión continua de partículas, sometidas a una

ligera turbulencia vertical, se forma sobre el área urbana una capa de niebla en forma de cúpula. Este fenómeno llamado «cúpula de polvo» ha sido desde la revolución industrial una característica de las grandes ciudades.

La cúpula de polvo es una consecuencia del calor que genera la propia área urbana. Las temperaturas de las ciudades son siempre más elevadas que las que se registran en las áreas rurales periféricas; según Mac Donald (1971) entre 0,5 y 1 °C en el promedio anual, y de 1 a 2 °C en la temperatura media del invierno. Esta diferencia se aprecia en la propia área urbana, de manera que, normalmente las temperaturas disminuyen desde el núcleo hacia los barrios periféricos. Se puede decir que esta distribución espacial de las temperaturas genera sobre las áreas urbanas un auténtico «islote de calor». Este origina una capa límite artificial, de forma acampanada, por encima de la cual el aire es más frío, actuando este nivel de inversión térmica como una barrera infranqueable para los contaminantes. Dentro de esta capa límite se establece un gradiente térmico adiabático que da lugar a una mezcla perfecta y a una distribución espacial uniforme de la concentración de contaminantes que, debido a su confinamiento, puede llegar a alcanzar valores excesivos. Esta capa de aire contaminado se espesa hacia abajo, de manera que cerca de la superficie presenta los caracteres de «smog».

Bajo este estado de la atmósfera los humos y gases contaminantes no pueden elevarse y diluirse como sucede normalmente. Los gases calientes quedan bloqueados en su movimiento ascendente por la capa de inversión, y se estancan en las proximidades del suelo. Por otra parte, la temperatura del aire puede ser suficientemente baja para que el vapor de agua se condense en forma de niebla.

Los smog formados bajo situaciones de inversión térmica corresponden a los tipos más graves de la contaminación atmosférica. Permiten una concentración máxima de elementos tóxicos. Así, durante el accidente de niebla contaminada que sufrió Londres, en diciembre de 1952, se registró una concentración de gas sulfuroso que sobrepasaba de 1,34 ppm, cuando la concentración medida con anterioridad al inicio del accidente era sólo de 0,1 ppm.; y, la cantidad de polvo superó en unas diez veces el valor normal (Waller & Commins, 1966).

Estas nieblas contaminadas bajo una situación de inversión de temperatura originan en los valles y cubetas cerradas efectos todavía más catastróficos; en estos casos el relieve favorece el estancamiento de la masa de aire. En el valle del Meuse, en Bélgica, durante la primera semana de diciembre de 1930, la tasa de  $\text{SO}_2$  osciló entre 30 y 100 mg por  $\text{m}^3$  (Detrie, 1969). También pueden servir de ejemplo los accidentes de Donora, situada en el fondo de un valle, y los de Los Angeles, emplazada en el fondo de una cubeta. Concretamente, esta última ciudad conoce más de 200 días de niebla al año, cuando las condiciones climáticas de la región, de carácter mediterráneo, permitirían más de 250 días claros al año.

Algunos elementos del clima, especialmente la insolación y la humedad, pueden influir en la formación de nieblas contaminadas de características muy concretas. Así, en las regiones de clima cálido o templado-cálido con fuerte insolación, las radiaciones luminosas originan smogs oxidantes; varias reacciones fotoquímicas originan la síntesis de ozono y peroxiacilmitratos. La niebla fotoquímica, una de las más peligrosas para el hombre, es una niebla ácida producida en la atmósfera por un proceso de oxidación fotoquímica en gran escala, que tiene lugar por la existencia de determina-

das condiciones meteorológicas (fuerte radiación solar, humedad relativa baja y vientos muy débiles o nulos) y la presencia de oxidantes y sus precursores en la atmósfera. Entre los principales elementos oxidantes están: ozono, peróxidos orgánicos (como el P.A.N., peroxiacetilnitrilo); aldehídos (formaldehído, acroleína); compuestos organoclorados (cloroaminas, cloroestireno) y otros. Los precursores, que favorecen la formación y presencia de los oxidantes, son principalmente los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno (especialmente el NO y  $\text{NO}_2$ ), procedentes en su mayor parte de las instalaciones de combustión. Por consiguiente, los precursores de los oxidantes tienen claramente su origen en el uso de los productos energéticos.

En las regiones de climas templado-frío pueden formarse nieblas contaminadas ácidas, un tipo de smog tan perjudicial para el hombre como el anterior. En este caso la elevada humedad del aire favorece la transformación del gas sulfuroso en ácido sulfúrico. En efecto, el dióxido de azufre del aire, en presencia de catalizadores adecuados, es absorbido y transformado en anhídrido sulfúrico. Si hay suficiente humedad, el anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) se puede convertir en ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que va ligado a pequeñas partículas de polvo que penetran fácilmente en los alvéolos pulmonares.

Estos tipos de smogs, como en general las nieblas, aunque éstas en menor medida, tienden a mantener el estado de inversión térmica. La capa de aire cargado de partículas reduce la radiación incidente en superficie, ya que absorbe o refleja la casi totalidad de la radiación solar que alcanza las capas bajas de la atmósfera. De este modo, la parte superior del estrato de inversión se enfría y desciende hacia el suelo conforme aumenta su densidad. Por consiguiente el final de esta situación sólo es posible con un cambio de tiempo. La formación de precipitaciones supone efectivamente un lavado de la atmósfera, pero la elevada concentración de contaminantes se precipita con la lluvia y contamina los suelos. Esto explica el hecho de que después de un período de contaminación, durante y a continuación de las lluvias, los sensores registren elevados valores de contaminación. Sólo un cambio de tiempo que suponga la renovación de la masa de aire puede desplazar y diluir en la atmósfera las fuertes concentraciones de poluentes que caracterizan a las nieblas contaminadas.

## CONCLUSIONES

— Las áreas urbanas, particularmente las densamente pobladas y muy industrializadas, representan una clara discontinuidad climática respecto al conjunto de la región. Esta singularización deriva de una parte, de la discontinuidad que representa la naturaleza del sustrato y variedad de formas; de otra parte, del comportamiento de la ciudad como emisora de cuerpos extraños a la atmósfera a partir de múltiples y variados focos.

— La naturaleza del sustrato urbano, así como la variedad de formas que resultan de la masificación de edificios, convierten a la ciudad en generadora y acumuladora de calor. Estas características originan la formación sobre la ciudad de un «islote de calor», de comportamiento termodinámico diferente al de las áreas próximas.

— La emisión a la atmósfera de elementos extraños supone unas modificaciones no sólo en su composición, sino también en su naturaleza física. Estas modificaciones se reflejan en su comportamiento y, por consiguiente, en el tiempo atmosférico.

co y en el clima. Entre otros efectos, modifica el balance radiactivo, incidiendo por tanto en el ritmo térmico y en el ciclo hidrológico, y, con respecto al problema que nos ocupa, supone un importante incremento de núcleos higroscópicos y, por tanto un aumento potencial de los procesos de condensación.

— Aunque las estadísticas sobre nieblas existentes en España, por sus deficiencias, no permiten resultados concluyentes, se tiene la certeza de que en las zonas contaminadas ha aumentado la frecuencia de nieblas, siendo además más persistentes que las formadas sobre áreas no contaminadas. En términos generales han aumentado su frecuencia en un 30 % durante el verano y un 100 % en invierno.

— Cuando las áreas urbanas industrializadas se encuentran bajo una situación anticiclónica muy estable, y aparece cerca de la superficie una capa de inversión térmica, los ligeros movimientos convectivos que se originan en la «isla de calor» elevan por encima de la ciudad los elementos contaminantes, formando la «cúpula de polvo». Esta reduce la insolación, con lo que el aire de la capa de inversión experimenta un progresivo enfriamiento, con el consiguiente proceso de descenso por aumento de densidad. El colchón de polvo tiende a aferrarse al propio sustrato urbano, alcanzando una elevada concentración de elementos contaminantes; se trata del «smog».

— Se distinguen varios tipos de «smog», que con frecuencia coinciden en una misma situación, aunque siempre predomina uno de ellos. Entre los tipos de «smogs», por su carácter muy peligroso para el hombre cabe destacar los fotoquímicos y los ácidos.

— Tanto las nieblas, como sobre todo los «smogs», al reducir la incidencia de la radiación solar tienden a aumentar la persistencia. De esta manera, sólo un cambio de tiempo que suponga una renovación de la masa de aire acaba con los estados de niebla y «smog».

#### BIBLIOGRAFÍA

- BARRY, R. G., R. J. CHORLEY (1972): *Atmósfera, tiempo y clima*, Barcelona, Ed. Omega.
- DETRIE, J. P. (1969): *La pollution atmosphérique*, Paris, Ed. Dunod.
- GOLDBERG, E. (1978): *The chemical invasion of the oceans by man*. En S.F. SINGER (1): *Global effects of environmental pollution*, Dordrecht, E. Reidel.
- KATZ, M. (1952): *Sources of pollution*, Los Angeles, Proceedings of the second national air pollution symposium, p. 98.
- KATZ, M. (1965): *Algunos aspectos físicos y químicos de la contaminación atmosférica*, Ginebra, ONU, 123 p.
- LOWRY, W. P. (1975): *El clima de las ciudades*. En: *El hombre y la ecosfera*, Madrid, Ed. Blume, p. 202-210.
- MAC DONALD, G. J. F. (1971): *Pollution weather and climate*. En: MAC MURDOCH: *Environment, resources, pollution and Society*, Stamford, Ed. Sinaver, p. 326-36.
- MITCHELL, J. M. (1970): *A preliminary evaluation of atmospheric pollution as a cause of the global temperature fluctuation of the past century* (en S.F. SINGER: *Global effects*, obr. cit.), Reidel, 1970, pág. 139.
- NATIONAL SMOKE ABATEMENT SOCIETY (1953): *Smokeless air*, London, vol. XXIII, n.º 85, p. 100.
- ROSS, R. D. (1974): *La industria y la contaminación del aire*, México, 1974.
- SCHAEFFER, V. J. (1970): *The inadvertant modification of the atmosphere by air pollution*. En: S.F. SINGER, obr. cit., p. 150-158.
- WALLER, R. E., B. T. COMMINNS (1966): *Episodes of high pollution in London (1952-66)*, London.

Recibido, junio 1978.