

*Este informe recoge la opinión colectiva de un grupo internacional de especialistas y no representa necesariamente el criterio ni la política de la Organización Mundial de la Salud.*

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD  
SERIE DE INFORMES TECNICOS

Nº 506

**CRITERIOS Y PAUTAS  
DE SALUBRIDAD DEL AIRE  
EN RELACION CON CIERTOS  
CONTAMINANTES DEL MEDIO  
URBANO**

**Informe de un Comité de Expertos de la OMS**

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

GINEBRA

1972

© Organización Mundial de la Salud 1972

Las publicaciones de la Organización Mundial de la Salud están acogidas a la protección prevista por las disposiciones sobre reproducción de originales del Protocolo 2 de la Convención Universal de Derechos de Autor. Las entidades interesadas en reproducir o traducir en todo o en parte alguna publicación de la OMS deberán solicitar la oportuna autorización de la Oficina de Publicaciones y Traducción, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. La Organización Mundial de la Salud dará a esas solicitudes consideración muy favorable.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que se presentan los datos que contiene no implican, por parte del Director General de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o del nombre comercial de ciertos productos no implica que la OMS los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las marcas registradas de artículos o productos de esta naturaleza se distinguen en las publicaciones de la OMS por una letra inicial mayúscula.

PRINTED IN FRANCE

## INDICE

	Página
1. Introducción . . . . .	7
1.1 Información de base . . . . .	8
2. Oxidos de azufre y partículas en suspensión . . . . .	10
2.1 Estudios experimentales . . . . .	11
2.2 Efectos sobre el hombre . . . . .	12
2.2.1 Efectos agudos . . . . .	12
2.2.2 Efectos crónicos . . . . .	13
2.2.3 Reacciones de molestia . . . . .	17
2.3 Efectos sobre la vegetación . . . . .	17
2.4 Evaluación . . . . .	17
3. Monóxido de carbono . . . . .	21
3.1 Cinética de la reacción del monóxido de carbono con la hemoglobina . . . . .	21
3.2 Efectos sobre el hombre . . . . .	22
3.2.1 Efectos sobre la función psicomotora . . . . .	22
3.2.2 Efectos sobre el sistema cardiovascular . . . . .	23
3.3 Efectos sobre la vegetación . . . . .	24
3.4 Evaluación . . . . .	24
4. Oxidantes fotoquímicos . . . . .	26
4.1 Efectos sobre el hombre . . . . .	26
4.1.1 Efectos agudos: mortalidad . . . . .	26
4.1.2 Efectos agudos sobre el sistema respiratorio . . . . .	27
4.1.3 Rendimiento atlético . . . . .	28
4.1.4 Molestias . . . . .	28
4.1.5 Efectos crónicos sobre el hombre . . . . .	28
4.2 Estudios experimentales . . . . .	28
4.3 Efectos sobre la vegetación . . . . .	29
4.4 Evaluación . . . . .	29
5. Bióxido de nitrógeno . . . . .	30
5.1 Efectos sobre el hombre . . . . .	31
5.2 Estudios experimentales . . . . .	31
5.3 Evaluación . . . . .	32
6. Aplicación administrativa de los criterios y pautas de salubridad del aire . . . . .	32
6.1 Conceptos básicos . . . . .	32
6.2 Costos de la protección de la salud y de la lucha contra la contaminación del aire . . . . .	34
6.3 Relaciones entre las normas basadas en diferentes promedios . . . . .	35
7. Selección de objetivos a corto plazo y a largo plazo . . . . .	36
7.1 Objetivos a corto plazo . . . . .	36
7.2 Objetivos a largo plazo . . . . .	36
8. Recomendaciones . . . . .	37

**COMITE DE EXPERTOS DE LA OMS EN CRITERIOS Y PAUTAS  
DE SALUBRIDAD DEL AIRE EN RELACION CON CIERTOS  
CONTAMINANTES DEL MEDIO URBANO**

*Ginebra, 5-11 de abril de 1972*

*Miembros:*

- Profesora K.A. Buštueva, Jefa del Departamento de Higiene Comunal, Instituto Central de Enseñanza Médica Superior, Moscú, URSS
- Sr. J.M. Dave, Asesor de Salud Pública e Ingeniería del Medio cerca del Gobierno de la India, Ministerio de Sanidad y Planificación Familiar, Nueva Delhi, India
- Profesor Lars T. Friberg, Presidente, Departamento de Higiene del Medio del Instituto Karolinska y del Organismo Sueco de Protección del Medio, Estocolmo, Suecia (*Presidente*)
- Profesor D. Högger, Presidente de la Comisión Federal de Salubridad del Aire, Zurich, Suiza
- Profesor A. Lafontaine, Director, Instituto de Higiene y Epidemiología, Ministerio de Salud y Seguridad Social, Bruselas, Bélgica (*Vicepresidente*)
- Dr. J.T. Middleton, Viceadministrador Adjunto, Oficina de Programas relativos a la Atmósfera, Organismo de Protección del Medio, Washington D.C., Estados Unidos de América
- Dr. Takeo Suzuki, Jefe, Departamento de Higiene Industrial, Instituto de Salud Pública, Tokio, Japón
- Dr. A.J. de Villiers, División de Efectos sobre la Salud, Centro de Higiene del Medio, Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social, Ottawa, Ont., Canadá (*Relator*)
- Dr. M.H. Wahdan, Profesor Adjunto de Epidemiología, Instituto Superior de Salud Pública, Universidad de Alejandría, Egipto

*Representantes de otras organizaciones:*

*Naciones Unidas:*

- Sr. P.S. Thacher, Director de Programa, Tercera Comisión, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Ginebra, Suiza
- Sr. A. Pichler-Stainern, División del Medio y de la Vivienda, Comisión Económica para Europa

*Organización Meteorológica Mundial:*

- Dr. C.C.A. Wallén, Jefe, División de Estudios sobre la Contaminación y de Aplicaciones Especiales, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza

*Organización de Cooperación y Desarrollo Económico:*

- Dr. M. Hashimoto, Administrador Principal de la Dirección del Medio, Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, París, Francia

*Federación Internacional de la Industria del Medicamento :*

Dr. F. Maritz, Químico, Departamento de Ecología, CIBA-GEIGY Limited, Basilea, Suiza

*Secretaría :*

- Dr. K. Biersteker, Facultad de Medicina, División de Medicina Social e Higiene del Medio, Rotterdam, Países Bajos (*Asesor Temporario*)
- Dr. G.J. Cleary, Graduado en Ciencias, Contaminación del Medio, OMS, Ginebra, Suiza
- Dr. B.G. Ferris, Jr, Profesor de Higiene y Seguridad del Medio, Escuela de Salud Pública de Harvard, Boston, Mass., Estados Unidos de América (*Asesor Temporario*)
- Dr. P.J. Lawther, Director, Servicio de Contaminación Atmosférica del Consejo de Investigaciones Médicas, y Profesor de Medicina del Medio, Colegio de Medicina del Hospital San Bartolomé, Londres, Inglaterra (*Asesor Temporario*)
- Dr. V.A. Newill, Adjunto del Servicio de Efectos sobre la Salud, Oficina de Investigación y Vigilancia, Organismo de Protección del Medio, Washington D.C., Estados Unidos de América (*Asesor Temporario*)
- Dr. H. Oyanguren, Asesor y Ex-Director, Instituto de Higiene del Trabajo y Contaminación Atmosférica, Santiago, Chile (*Asesor Temporario*)
- Sr. R. Pavanello, Jefe, Contaminación del Medio, OMS, Ginebra, Suiza (*Secretario*)
- Dr. M.J. Suess, Oficial Regional de Higiene del Medio, OMS, Copenhague, Dinamarca
- Dr. W.B. Vouk, Graduado en Ciencias, Contaminación del Medio, OMS, Ginebra Suiza



# CRITERIOS Y PAUTAS DE SALUBRIDAD DEL AIRE EN RELACION CON CIERTOS CONTAMINANTES DEL MEDIO URBANO

Informe de un Comité de expertos de la OMS

## 1. INTRODUCCION

Del 5 al 11 de abril de 1972 se reunió en Ginebra un Comité de Expertos de la OMS en Criterios y Pautas de Salubridad del Aire en relación con ciertos Contaminantes del Medio Urbano. En nombre del Director General, el Dr. B.H. Dieterich, Director de la División de Higiene del Medio, abrió la reunión y señaló a la atención del Comité una resolución adoptada por la 23ª Asamblea Mundial de la Salud en 1970, en la que se expresa el deseo de que « se dedique . . . la debida atención a los efectos de la contaminación del agua, el suelo, los alimentos y el aire, a los del ruido, a los de otros factores del medio perjudiciales para la salud del hombre, y a la necesidad de establecer criterios de higiene del medio, normas para la adopción de medidas preventivas y métodos para la determinación de prioridades y la distribución de recursos, tomando como base los problemas y los imperativos de la acción sanitaria en los países en desarrollo y en los países desarrollados. »

El Dr. Dieterich añadió que la OMS ha recibido un gran número de peticiones de orientación, tanto de países desarrollados como de países en desarrollo, acerca de las pautas aplicables a las concentraciones de contaminantes atmosféricos peligrosos para la salud. Muchos de esos países carecen de la experiencia, del equipo y del tiempo necesarios para crear una infraestructura científica propia que permita la formulación de normas y de disposiciones legales. Naturalmente, los gobiernos responsables del establecimiento de las normas habrán de tener también en cuenta otros factores distintos de los sanitarios como, por ejemplo, los recursos económicos y técnicos, las tradiciones administrativas y jurídicas y la situación social y económica.

El Dr. Dieterich señaló también que un Simposio Interregional organizado por la OMS en octubre de 1970 recomendó que se convocase una reunión de expertos con objeto de proponer criterios y pautas<sup>1</sup> de salu-

<sup>1</sup> Estos términos se definen en *Org. mund. Salud Ser. Inf. técn.*, 1964, N° 271, pág. 14.

bridad del aire en relación con ciertos contaminantes frecuentes del medio urbano como óxidos de azufre, partículas en suspensión, monóxido de carbono, oxidantes y óxidos de nitrógeno.

### 1.1 Información de base

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de autodepuración, aunque aún no se conoce por completo, también parece tener sus límites, por lo menos en algunos lugares y en lo que respecta a ciertos contaminantes. La emisión de ciertos contaminantes aumentará inevitablemente con la expansión demográfica mundial y con el progreso de la industria, que irá fabricando más y más variados productos. En diversas ocasiones y en distintos países, el aumento de las emisiones de contaminantes ha provocado ya concentraciones a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y la morbilidad. Existen pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire son peligrosas para los seres humanos y nada permite suponer que cualquier concentración de un contaminante pueda tener efectos beneficiosos. Para la mayor parte de los factores del medio, como el calor, la humedad, el ruido, etc., se han establecido valores admisibles, pero hasta ahora no se ha fijado ninguno para los contaminantes de la atmósfera. Por consiguiente, la Organización Mundial de la Salud<sup>1</sup> ha desplegado considerables esfuerzos teóricos y prácticos en la importante misión de evaluar los efectos que tiene sobre la salud la contaminación en el nivel actual y en el que puede alcanzar en el futuro. Lawther y cols. procedieron, en 1962, a un examen de los factores epidemiológicos.

El presente Comité de Expertos se da cuenta, a la vez, de la conveniencia y de la dificultad de proceder a un estudio exhaustivo de todos los datos publicados, pero reconoce, sin embargo, que muchos países necesitan asesoramiento urgente para poder adoptar medidas prudentes basadas en los conocimientos actuales, a fin de proteger a sus poblaciones contra los efectos nocivos de la contaminación sobre la salud, tanto formulando normas como fijando objetivos a largo plazo.

Aunque es difícil definir la contaminación del aire, cabe recurrir a la definición de un anterior comité de expertos,<sup>2</sup> según la cual conviene reservar la expresión contaminación de la atmósfera « para los casos en que el aire ambiente exterior contiene impurezas a concentraciones perjudiciales para el hombre o para su medio ». Esta es la definición que se ha adoptado en el presente informe, que se limita al examen de cinco contaminantes y, de acuerdo con ella, sólo se tiene en cuenta la conta-

<sup>1</sup> *Org. mund. Salud Ser. Inf. técn.*, 1958, N° 157; 1964, N° 271; 1968, N° 406; 1970, N° 439; *Org. mund. Salud Ser. Monogr.*, 1961, N° 46.

<sup>2</sup> *Org. mund. Salud Ser. Inf. técn.*, 1958, N° 157.

minación exterior, si bien se advierte que también puede ser importante la contaminación del aire en el interior de las viviendas, problema que exige un estudio más detenido. Por la misma razón, apenas se tratan los complejos problemas resultantes del hecho de que, a veces, las modificaciones meteorológicas provocan grandes variaciones en las concentraciones de contaminantes al nivel del suelo. A causa de la variabilidad provocada por las condiciones atmosféricas es difícil establecer una relación entre los valores medios de periodos prolongados (por ejemplo, concentraciones medias anuales) y los valores máximos de periodos breves que pueden tener más importancia en la producción de determinados efectos. Este problema ha sido estudiado con detalle por Katz (1969) en otra publicación.

Para la preparación de criterios y pautas de salubridad del aire pueden utilizarse varios tipos de datos; las técnicas experimentales, por ejemplo, pueden proporcionar informaciones valiosas. Algunos expertos se inclinan a pensar que toda desviación de los valores « normales » de los índices fisiológicos, bioquímicos o del comportamiento es más un efecto perjudicial que una consecuencia de la adaptación al medio y preferirían fijar normas por debajo de las cuales no sea posible ningún efecto nocivo. Como ha indicado Rjazanov (1965), el empleo de modelos a base de voluntarios y de animales es particularmente útil para el estudio de estos ligerísimos efectos de supuestos contaminantes. En el plano clínico se pueden evaluar los resultados de los experimentos con diversos contaminantes en individuos normales para determinar a qué concentración provocan efectos clínicamente nocivos. Las experiencias de este tipo son útiles pero tienen un valor limitado, pues por importantes consideraciones éticas no pueden utilizarse personas enfermas (véase la Sección 2.1). Desde el punto de vista epidemiológico, se estudian los efectos de las fluctuaciones de la contaminación atmosférica sobre la totalidad de la población o sobre grupos seleccionados y definidos, como niños, viejos, enfermos, etc., que pueden ser especialmente sensibles a la acción de los contaminantes sospechosos de nocividad. Los efectos agudos, subagudos y crónicos pueden estudiarse epidemiológicamente, pero es necesario tener en cuenta que la existencia de otros factores distintos de la contaminación puede complicar la interpretación de las variaciones de la mortalidad y de la morbilidad, pues los efectos de la contaminación atmosférica están estrechamente relacionados con otros factores como la temperatura y la situación social y económica. La prevalencia de infecciones, el hábito de fumar, las medidas terapéuticas, la migración de poblaciones, la malnutrición y las tensiones psicológicas pueden plantear difíciles problemas de interpretación. Tropiezan con especiales dificultades quienes se dedican a estudiar la reacción a la contaminación en el medio de trabajo. Los trabajadores forman un subgrupo de población especialmente seleccionado y físicamente apto, que presenta diferencias evidentes con respecto a la

población general, en la que se incluyen los niños de corta edad, los ancianos y los enfermos. No obstante, los estudios de este tipo merecen un análisis crítico y no un rechazo inmotivado.

Aun con una información limitada, se han hecho serios intentos para llegar a un acuerdo en cuanto a las medidas que deben adoptarse para proteger a las poblaciones contra la contaminación. Por desgracia, hay que reconocer que esta manera de abordar el problema no garantiza en absoluto que dichas medidas confieran la protección buscada. El problema de la contaminación del aire es sumamente complejo. La asociación entre un contaminante y una enfermedad o una defunción puede ser más accidental que causal; es frecuente que las concentraciones de muchos contaminantes, algunos de los cuales no se han podido medir o identificar, varíen paralelamente, y en toda población urbana existen personas con un estado de salud tan precario que pueden sucumbir ante cualquier « stress » contra el que no se les haya protegido suficientemente.

## BIBLIOGRAFIA

- Katz, M. (1969) *Measurement of air pollutants: guide to the selection of methods*, Ginebra Organización Mundial de la Salud, pág. 123. Publicado también en francés
- Lawther, P.J., Martin, A.E. y Wilkins, E.T. (1963) *Epidemiología de la contaminación atmosférica*, Ginebra, Organización Mundial de la Salud (*Cuadernos de Salud Pública* N° 15)
- Rjazanov, V.A. (1965) *Bull. Org. Mond. Santé — Bull. Wld Hlth Org.*, 32, 389

## 2. OXIDOS DE AZUFRE Y PARTICULAS EN SUSPENSION

Los óxidos de azufre y las partículas en suspensión, que en el presente informe se examinan juntos, tienen con frecuencia un origen común, pues ambos pueden ser el producto de la quema de combustibles fósiles. El bióxido de azufre se desprende en la combustión de los compuestos de azufre presentes como impurezas en muchos carbones y aceites pesados. Durante el proceso de combustión, una parte del azufre de esos combustibles puede oxidarse aún más y dar lugar a la producción de trióxido de azufre, forma en la que puede emitirse un 5 % aproximadamente del azufre. Una parte del azufre del carbón queda retenido en las cenizas en forma de sulfato.

Es necesario definir con precisión las partículas en suspensión, pues sus efectos están determinados no sólo por la dosis sino también por su composición química y su forma física. Del mismo modo, los métodos para medir y expresar la concentración de partículas suspendidas en el aire dependen en gran medida de las propiedades de esos contaminantes. Cuando un combustible que contiene carbono se quema de forma defi-

ciente, el humo que se desprende puede ser carbono casi puro, como sucede con un motor Diesel mal regulado, o un aerosol complejo formado de pequeñas gotas de alquitrán, como el que se produce en la destilación destructiva y en la combustión defectuosa del carbón. Con los gases de la combustión pueden pasar a la atmósfera partículas diminutas de cenizas minerales. La niebla y la bruma contienen partículas cuyo tamaño se puede estabilizar por la acción de ciertas sales. También puede formarse una contaminación por partículas a partir de contaminantes gaseosos. El bióxido de azufre se puede oxidar formando ácido sulfúrico y, después, sulfato.

Aparte de la quema de combustible, hay muchos procesos industriales que emiten una gran diversidad de partículas. Además, no todas las partículas contaminantes resultan de actividades del hombre: son frecuentes los aerosoles salinos consecutivos a la pulverización del agua del mar, muchos lugares están expuestos a la acción de polvos transportados por el aire que pueden provocar grandes concentraciones de partículas y también son frecuentes las esporas, el polen, los mohos y otros materiales orgánicos.

Es importante tener en cuenta que los contaminantes atmosféricos en partículas y gaseosos rara vez o nunca se presentan aislados y, por lo tanto, a menos que el efecto buscado sea sumamente específico, las técnicas epidemiológicas pocas veces permiten atribuir con suficiente certeza un efecto observado a un contaminante determinado. El hecho de que, en algunos lugares, la contaminación por el humo disminuya con mayor rapidez que la contaminación por el bióxido de azufre tal vez facilite los estudios de ese tipo.

La mayor parte de los estudios epidemiológicos publicados, incluidos los que se mencionan en el presente informe, tratan de las partículas producidas por la quema de combustibles fósiles y, por consiguiente, es necesario obrar con prudencia cuando se trata de extrapolar los datos obtenidos a situaciones en las que los óxidos de azufre pueden combinarse con otros contaminantes más específicos de origen industrial, natural, etc. Además, puede ser difícil evaluar la exposición general de los individuos o de los grupos a causa de los distintos grados de exposición en las viviendas individuales (Biersteker y cols., 1965) o en los grandes edificios de pisos (Gubernskij y cols., 1969).

## **2.1 Estudios experimentales**

Los resultados de estudios hechos en animales indican que la adición de diversas partículas al bióxido de azufre puede reforzar o intensificar sus efectos (Amdur y Underhill, 1968). Los trabajos experimentales sobre individuos sanos no han permitido llegar a la conclusión de que la adición de partículas al bióxido de azufre inhalado refuerce sus efectos

en las exposiciones de breve duración (Frank y cols., 1964). Ahora bien, el método experimental tiene la importante limitación de que, por razones de ética, las experiencias sólo pueden realizarse con individuos sanos y, por lo tanto, un resultado negativo no excluye una posible nocividad de los contaminantes que, a las mismas dosis, hubiesen podido producir efectos graves si se hubieran administrado a enfermos con trastornos importantes de diversas funciones, como la respiratoria o la cardiovascular.

El tamaño de las partículas tiene una evidente importancia biológica pues, en general, hay que suponer que han de ser de menos de 5  $\mu\text{m}$  para penetrar y quedar depositadas en los alvéolos (Grupo Especial sobre Dinámica Pulmonar . . ., 1966). No hay que desdeñar, sin embargo, la importancia de las partículas de mayor tamaño, pues su fijación en las vías respiratorias altas puede provocar irritación, broncoconstricción refleja e hipersecreción de mucosidad.

En general, los resultados obtenidos en animales expuestos a óxidos de azufre y a partículas no permiten una evaluación cuantitativa del riesgo para la salud humana aun cuando sean importantes para esclarecer los mecanismos de acción y, por lo tanto, indispensables para una evaluación total del riesgo (Amdur, 1969, 1970; Buštueva, 1961; Sidorenko y Susarova, 1955, US PHS Dept of HEW, 1965; Yelfimova y Gusev, 1969). Por el momento, para determinar qué concentraciones de esos contaminantes pueden ser peligrosas, es necesario basarse en los datos obtenidos en el hombre.

## 2.2 Efectos sobre el hombre

Se conocen los resultados de algunos estudios que pueden servir para establecer relaciones o asociaciones dosis-respuesta para el bióxido de azufre y las partículas en suspensión, pero el número de esos trabajos es limitado y por ahora se poseen pocos datos acerca de los efectos de las variaciones de uno de los dos contaminantes mientras el otro se mantiene en concentración constante. Por desgracia, hasta ahora se han utilizado en esos estudios diferentes métodos de medición lo cual hace más difícil la comparación de los datos. Por esa razón, los resultados habrán de considerarse como una primera aproximación.

En vista de lo que precede, es indispensable, hasta que se establezcan las relaciones causa-efecto, que el bióxido de azufre, los humos localmente asociados y las partículas en suspensión se consideren como índices más que como los contaminantes específicos causantes de los efectos.

### 2.2.1 Efectos agudos

Se ha recurrido a técnicas epidemiológicas para tratar de evaluar los efectos independientes o combinados del bióxido de azufre y de las partículas. En Londres, la entrada en vigor de la Clean Air Act ha reducido

considerablemente la contaminación por materias en suspensión y al mismo tiempo han disminuido en mucha menor proporción las concentraciones de bióxido de azufre. Lawther y cols. (1970) estudiaron la relación de los valores diarios de humo y bióxido de azufre con el estado de salud de individuos con enfermedades respiratorias. El valor de la experiencia quedó limitado por el hecho de que, en el curso de los años, se han vuelto muy raros los episodios de contaminación grave. No obstante, se observó que los enfermos ya no respondían a concentraciones máximas de bióxido de azufre que antes, asociadas a concentraciones elevadas de partículas, provocaban una reacción. No se pudo determinar con suficiente certeza si alguno de los contaminantes tenía un efecto dominante y, en caso afirmativo, cuál de ellos. De todas formas, es posible que la técnica no sea lo bastante sensible para utilizarla en esa serie de valores. Los efectos beneficiosos de la reducción de las partículas se pusieron asimismo de manifiesto en otra investigación realizada en Londres, en la que se hizo un estudio prospectivo de un grupo de hombres. Fletcher (1967) ha comunicado las observaciones realizadas sobre un grupo de trabajadores londinenses de 30 a 60 años de edad observados desde 1961 hasta 1966. El volumen medio de los esputos fue disminuyendo regularmente incluso entre los individuos que no habían modificado sus hábitos de fumar. Esa disminución de la expectoración coincidió con una reducción de las concentraciones medias de humo en siete puntos de muestreo en Londres. El descenso de los valores medios del humo durante el invierno, de unos 420  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 1959 a unos 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 1965, no fue acompañado de una reducción de magnitud correspondiente del bióxido de azufre, que sólo descendió de 300 a 260  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ .

### 2.2.2 *Efectos crónicos*

En cualquier estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre las personas es necesario distinguir entre efectos agudos, subagudos y crónicos. Cuando existen concentraciones muy elevadas, como las que se han observado en Londres (Inglaterra), el Valle del Mosa (Bélgica), Donora, Pa., Nueva York, el Ruhr, Osaka y Rotterdam, los efectos inmediatos se ponen claramente de manifiesto en el aumento de la morbilidad o en la mortalidad, sobre todo en los enfermos, las personas de edad avanzada o los individuos debilitados por cualquier otra razón. Más difícilmente discernibles son las posibles consecuencias a largo plazo de la exposición episódica a elevadas concentraciones de contaminantes; entre ellas puede figurar la aparición ulterior de bronquitis crónica. Aunque es indudable que fluctuaciones de la contaminación menos espectaculares que las observadas en Londres y en otros lugares pueden agravar enfermedades cardíacas y respiratorias ya existentes, hay que tener en cuenta asimismo la posibilidad de que la exposición crónica al bióxido de azufre

y a materias en suspensión favorezca el desarrollo de una enfermedad respiratoria crónica. En general, para el estudio de este importante problema son más útiles los métodos epidemiológicos que las técnicas experimentales.

A continuación se reseñan algunos estudios relativos a los efectos crónicos de la contaminación, indicada por las concentraciones de bióxido de azufre y partículas en suspensión. Al mismo tiempo, en esos estudios se ponen de manifiesto algunos de los problemas que plantea la determinación de relaciones dosis-efecto. Se tropieza con dificultades, sobre todo cuando se trata de normalizar las técnicas de medición y de tener debidamente en cuenta otros factores distintos de la contaminación, como el hábito de fumar, la edad, el sexo y ciertas variables sociales, económicas y meteorológicas.

*Efectos crónicos en el adulto.* Holland y colaboradores (Holland y Reid, 1965; Holland y Stone, 1965; Holland y cols., 1965) hicieron estudios con los empleados de correos y teléfonos que trabajan al aire libre en el Reino Unido y en los Estados Unidos de América y encontraron una correspondencia entre diversos síntomas respiratorios y diferentes niveles de contaminación, sobre todo en el grupo de 50 a 59 años de edad. Esas diferencias persistieron al examinar a diversas categorías de fumadores. Los autores comunicaron que en las zonas de mayor contaminación se observaba una reducción de la función pulmonar, es decir del volumen expiratorio forzado en un segundo ( $VEF_{1,0}$ ) y de los índices de flujo expiratorio máximo (IFEM). Holland y cols. (1965) indicaron en ese estudio de un grupo profesional que para hacer comparaciones internacionales lo mejor sería utilizar muestras aleatorias de poblaciones siempre que difieran las contaminaciones atmosféricas.

Reid y cols. (1964) trataron de proceder a esa comparación utilizando datos tomados del estudio hecho sobre médicos generales en Gran Bretaña (Colegio de Médicos, 1961) y de una encuesta realizada en Berlin, N. H., Estados Unidos de América (Ferris y Anderson, 1962). A continuación examinaron los efectos de la contaminación atmosférica por grupos de edad y por sexo. En los casos de bronquitis simple, diagnosticados por la emisión de flemas durante tres meses al año y durante tres años, la normalización según el consumo de cigarrillos excluyó toda prueba de la existencia de un efecto de la contaminación atmosférica tanto sobre los hombres como sobre las mujeres. En cambio, una forma más grave de bronquitis crónica, caracterizada por la producción de flemas, las exacerbaciones de catarros con síntomas torácicos y las dificultades respiratorias cuando el individuo marcha a su paso normal por un terreno llano, guardaba relación, en ambos sexos, con la contaminación atmosférica. No se sabe si también pueden influir las diferencias étnicas o la situación social y económica.

Ferris y Anderson (1964) estudiaron una muestra aleatoria procedente de Chilliwack, Columbia Británica (Canadá), donde la contaminación atmosférica es escasa. Después de una normalización por edades y hábitos de fumar, no observaron diferencias estadísticamente significativas entre los síntomas respiratorios que presentaban los individuos de esa comunidad y los de los habitantes de Berlin, N.H. (Estados Unidos de América), ciudad más contaminada, si bien en este último lugar las cifras eran, por lo general, más elevadas que en Chilliwack. En las pruebas de función pulmonar ( $VEF_{1,0}$  e IFEM), después de la normalización por edad, estatura, sexo y hábitos de fumar, se observaron ciertas diferencias, que en algunos casos alcanzaban significación estadística. Parece lógico concluir que los resultados de los estudios hechos en Berlin y Chilliwack indican que las ligeras diferencias observadas en los síntomas respiratorios y en la función pulmonar guardan relación con las concentraciones de contaminantes.

Un estudio realizado por van der Lende (1969) en los Países Bajos indicó que la obstrucción de las vías respiratorias no guarda relación con la contaminación atmosférica, al contrario de lo que sucede con los tos y la producción de flemas. Sin embargo, como señaló el propio van der Lende, los resultados de su estudio pueden haber sido alterados por la presencia de alérgenos, como esporas o bacterias, propios de una región agrícola. Es probable que en realidad se estén estudiando dos aspectos distintos del problema: el bióxido de azufre y las partículas (de tipo no identificado) en las zonas industrializadas, y los alérgenos en las comunidades agrícolas, donde la contaminación atmosférica es apenas aparente. Todos los países deben tener en cuenta esta posibilidad y determinar si se hallan o no en una situación semejante.

*Efectos crónicos en el niño.* Los estudios realizados en niños han proporcionado también informaciones útiles para la preparación de pautas. Douglas y Waller (1966) llevaron a cabo un estudio retrospectivo-prospectivo sobre una cohorte delimitada por los niños nacidos en la primera semana de marzo de 1946. Visitadores sanitarios y médicos escolares mantuvieron a los niños en observación fuera y dentro del hospital. Se registraron la morbilidad y la intensidad de los síntomas. Las concentraciones de contaminantes atmosféricos se calcularon a partir de la cantidad de carbón consumida en una zona determinada. Valiéndose de los datos nacionales, esos investigadores establecieron cuatro niveles de contaminación atmosférica. En las zonas de mayor contaminación se observó una mayor frecuencia de infecciones de las vías respiratorias inferiores.

Lunn y cols. (1967) estudiaron a niños en su primer año de escolaridad. El niño era objeto de reconocimientos médicos, se preguntaba a los padres cuál había sido hasta entonces el estado de salud del niño y se medían el  $VEF_{0,75}$  y la capacidad vital forzada (CVF). Se tuvieron

asimismo en cuenta los factores sociales y económicos. Se trataba de familias estables y el número de emigrantes o inmigrantes en las comunidades era escaso o nulo. Se midió la contaminación atmosférica durante los tres años que duró el estudio y se encontró que en las zonas más contaminadas eran más frecuentes las infecciones crónicas de las vías respiratorias altas y bajas. En un estudio catamnésico hecho tres años después por Lunn y cols. (1970) se puso de manifiesto que la reducción del humo en Sheffield había ido acompañada de una disminución de las diferencias antes observadas entre los distintos grupos de niños.

Holland y cols. (1969) acopiaron datos relativos a escolares de cuatro zonas de Kent (Inglaterra), dos predominantemente urbanas y dos de carácter rural. En tres de las zonas se midieron el humo y el bióxido de azufre y se reunieron datos sobre hacinamiento, densidad de población y vivienda. Destacaron cuatro factores por su importante relación con una baja del IFEM y con los síntomas respiratorios: el lugar de residencia era el más significativo, a continuación venían los antecedentes de enfermedades respiratorias y, por último, la clase social y la composición de la familia. Los efectos de esos cuatro factores parecen ser simplemente aditivos y representan sólo de un 10 a un 15 % de la variación total.

Colley y Reid (1970) estudiaron a niños de 6 a 10 años residentes en zonas urbanas y rurales de Inglaterra y Gales, respectivamente. Se evaluó la prevalencia de enfermedades respiratorias en otoño, antes de la contaminación invernal máxima. En ambas zonas se observó una correspondencia entre las enfermedades y la intensidad de la contaminación, pero, al mismo nivel de contaminación, las tasas de prevalencia eran mucho más elevadas en Gales. No están claras las razones de la mayor prevalencia de síntomas respiratorios en la zona rural pero se ha pensado que podría estar relacionada con el hecho de que en Gales se consume mucho combustible sólido.

Se han obtenido nuevos datos gracias a un estudio de Ferris (1970) sobre las ausencias escolares y las pruebas de función pulmonar durante el primer y el segundo cursos de escolaridad (6-7 años de edad) en diferentes escuelas de Berlin, N.H. (Estados Unidos de América). A pesar de que existían algunas variaciones en los niveles de contaminación atmosférica no se observaron diferencias en el número de ausencias, pero los alumnos que frecuentaban la escuela situada en el lugar de mayor contaminación dieron resultados más bajos en las pruebas de función pulmonar.

Un estudio de más de 10 años de duración acerca de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de los niños de las escuelas primarias del Japón (Toyama y Nakamura, 1964) reveló también que existe una asociación o relación directa entre contaminación y efectos sobre la salud: en los lugares donde era mayor la concentración de contaminantes se comprobó que existía un aumento significativo de la resistencia al flujo respiratorio y un mayor número de ausencias escolares.

Biersteker y Van Leeuwen (1970) plantearon la cuestión de si un alojamiento en buenas condiciones podía proteger a los escolares, pues no encontraron variaciones significativas en los índices de flujo expiratorio máximo en dos distritos de Rotterdam con diferentes niveles de contaminación.

### 2.2.3 *Reacciones de molestia*

En algunas zonas se ha estudiado el problema de la conciencia social de la contaminación provocada por las partículas en suspensión. Los resultados de diversos estudios se han reunido en un documento relativo a las partículas en suspensión (US Dept of HEW, 1969) en el que figuran asimismo datos tomados de un estudio realizado por Schusky (1966) en San Luis, Mo. (Estados Unidos de América), donde se registraron « reacciones de molestia » ante diversos grados de contaminación. Conviene realizar estudios análogos en otros países, pues es muy posible que, en el porvenir, esas reacciones sean los efectos críticos sobre los que se basarán los criterios para la protección de la salud pública. Como el medio cultural influye en gran medida sobre las « reacciones de molestia », los límites pueden variar de unos países a otros y habrá que determinarlos en el plano local.

## 2.3 Efectos sobre la vegetación

Concentraciones de bióxido de azufre de las más bajas entre las que provocan la agravación de pacientes con procesos pulmonares pueden asimismo causar daños importantes en la vegetación sensible, a causa de la acción sinérgica de este contaminante con bajas concentraciones de ozono o de bióxido de nitrógeno. Concentraciones demasiado bajas para molestar al hombre pueden provocar daños graves en plantas de importancia económica.

## 2.4 Evaluación

El Comité ha evaluado los estudios que acaban de reseñarse y otros informes publicados y, basándose en sus propios criterios y en su experiencia, ha identificado las concentraciones asociadas a ciertos efectos observados. Conviene señalar que la mayoría de esos efectos van asociados a la presencia tanto de partículas en suspensión como de bióxido de azufre en climas templados y a altitudes relativamente bajas, donde ambos contaminantes se desprenden simultáneamente en la quema de combustibles fósiles. De una forma provisional parece lógico aplicar esos resultados a altitudes superiores o a otras condiciones climáticas, pero es importante

estudiar más a fondo la contaminación en esas condiciones con el fin de determinar si los criterios descritos son realmente aplicables, sobre todo en zonas con concentraciones naturales de polvo elevadas y bajas concentraciones de óxido de azufre, o si es necesario adaptarlos a las características geográficas y demográficas locales.

En la interpretación de los datos que figuran en el Cuadro 1 hay que tener en cuenta que un valor numérico asociado a un efecto dado no implica que todos los individuos expuestos serán afectados de esa forma. No se dispone de ninguna información válida que permita proceder a una evaluación cuantitativa precisa de ese riesgo. En general, la proporción de la población que probablemente será afectada es pequeña. Los valores indican simplemente que se ha notificado la existencia de esos efectos y que el número de personas afectadas es suficientemente grande como para ser estadísticamente diferente del número de individuos afectados en los grupos testigo.

CUADRO 1. EFECTOS PREVISTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA SOBRE LA SALUD DE DIVERSOS GRUPOS DE POBLACION \*

Contaminante	Aumento de la mortalidad y de las hospitalizaciones	Empeoramiento de enfermos pulmonares	Síntomas respiratorios	Efectos sobre la visibilidad y molestias para el hombre
SO <sub>2</sub> <sup>a</sup>	500 µg/m <sup>3</sup> (promedio diario)	500-250 µg/m <sup>3</sup> <sup>b</sup> (promedio diario)	100 µg/m <sup>3</sup> (media aritmética anual)	80 µg/m <sup>3</sup> (media geométrica anual)
humo <sup>a</sup>	500 µg/m <sup>3</sup> (promedio diario)	250 µg/m <sup>3</sup> (promedio diario)	100 µg/m <sup>3</sup> (media aritmética anual)	80 µg/m <sup>3</sup> (media geométrica anual) <sup>c</sup>

\* El Comité advierte expresamente que este cuadro no debe considerarse independientemente del texto correspondiente (véase la sección 2.4).

<sup>a</sup> Métodos británicos (*British Standard Practice* — Ministerio de Tecnología 1966). Los valores de bióxido de azufre y partículas en suspensión sólo son aplicables conjuntamente. Tal vez sea necesario reajustarlos cuando se trate de reflejar los resultados obtenidos por otros métodos.

<sup>b</sup> Estos valores representan las diferencias de opinión en el seno del Comité.

<sup>c</sup> Con dispositivos de muestreo de gran volumen.

Se ha observado un aumento de la mortalidad en la población general cuando las concentraciones tanto de partículas en suspensión como de óxidos de azufre pasan de 500 µg/m<sup>3</sup> durante 24 horas. El aumento se deja sentir sobre todo en los grupos vulnerables de la población, especialmente en los individuos con procesos cardíacos o pulmonares. Esas concentraciones han coincidido también con un aumento de las hospitalizaciones.

En las consideraciones siguientes acerca de las modificaciones de la morbilidad debidas a la contaminación, es preciso tener en cuenta que la morbilidad representa una gama de efectos que va desde el trastorno funcional hasta la aparición de una enfermedad crónica.

El estudio de las variaciones diarias del estado de pacientes con bronquitis indica que las agravaciones responden a la presencia simultánea durante 24 horas de concentraciones de contaminantes de 500  $\mu\text{g}$  de bióxido de azufre por  $\text{m}^3$  y de 250  $\mu\text{g}$  de humo por  $\text{m}^3$ . Según ciertas observaciones preliminares inéditas que la India y los Estados Unidos de América han comunicado al Comité, los síntomas de los enfermos respiratorios pueden aumentar cuando las concentraciones tanto de bióxido de azufre como de partículas en suspensión alcancen 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (las partículas se miden con dispositivos de muestreo de gran volumen). En niños que viven en zonas donde los promedios anuales de humo y de óxidos de azufre pasan de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pueden observarse con mayor frecuencia trastornos de las vías respiratorias altas y bajas y una reducción de la función pulmonar.

Los contaminantes atmosféricos reducen el campo visual o visibilidad. Este fenómeno se inicia cuando las concentraciones de óxido de azufre y de partículas en suspensión sobrepasan los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con una humedad relativa del 50 % o más y una temperatura ambiente elevada. En una encuesta se puso de manifiesto que en los lugares donde la media geométrica anual del total de partículas en suspensión era de 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , un 30 % de las personas se daban cuenta de la reducción de su visibilidad y un 10 % sentían molestias; también se quejaban el 20 % de los habitantes de zonas donde el promedio era de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El Comité advierte que el problema de las molestias puede adquirir una importancia crítica en el porvenir.

Las mencionadas concentraciones de partículas en suspensión y de óxidos de azufre que pueden provocar la aparición de efectos pueden variar en diferentes lugares según las características químicas y físicas de los contaminantes y en función de la presencia de otros contaminantes. Además de los procedimientos actualmente en uso, es preciso disponer de métodos más perfeccionados para medir y caracterizar los óxidos de azufre, las partículas en suspensión y otros contaminantes.

En los diversos estudios relativos a los efectos de los contaminantes sobre la salud se han utilizado diferentes métodos para medir el bióxido de azufre y las partículas en suspensión, lo cual dificulta la comparación de los resultados. A este respecto es típico el problema que plantea la comparación de los resultados obtenidos con muestras de gran volumen y con muestras tomadas aisladamente y durante poco tiempo. En el presente informe, las concentraciones de partículas en suspensión se expresan en función del método británico (British Standard Method) basado en la mancha del papel de filtro (Ministerio de Tecnología, 1966) pues es el que se ha seguido en varios de los estudios examinados por el Comité, pero ello no implica que deba aceptarse como método normal de referencia. El Comité recomienda que lo antes posible se adopten medidas para preparar un método normal de referencia que facilite la comparación de los resultados obtenidos con las diversas técnicas empleadas.

## BIBLIOGRAFIA

- Amdur, M.O. (1969) *J. Air Pollut. Control Ass.*, **19**, 638
- Amdur, M.O. (1970) *Proc. Amer. phil. Soc.*, **114**, 3
- Amdur, M.O. y Underhill, D. (1968) *Arch. environm. Hlth*, **16**, 460
- Biersteker, K., de Graaf, H. y Nass, C.A.G. (1965) *Int. J. Air Wat. Pollut.*, **9**, 343
- Biersteker, K. y Van Leeuwen, P. (1971) En: *Proceedings of the Second International Air Pollution Congress, Washington, D.C., 1970*, Nueva York y Londres, Academic Press, pág. 209
- Buštueva, K.A. (1961) [*Compilación de concentraciones máximas admisibles de contaminantes atmosféricos*], 4ª ed., pág. 126 (en ruso)
- College of General Practitioners (1961) *Brit. med. J.*, **2**, 973
- Colley, J.R.T. y Reid, D.D. (1970) *Brit. med. J.*, **2**, 213
- Douglas, J.W.B. y Waller, R.E. (1966) *Brit. J. prev. soc. Med.*, **20**, 1
- Ferris, B.G., Jr (1970) *Amer. Rev. resp. Dis.*, **102**, 591
- Ferris, B.G., Jr y Anderson, D.O. (1962) *Amer. Rev. resp. Dis.*, **86**, 165
- Ferris, B.G., Jr y Anderson, D.O. (1964) *Proc. roy. Soc. Med.*, **57**, 979
- Fletcher, C.M. (1967) *Scand. J. resp. Dis.*, **48**, 285
- Frank, N.R., Amdur, M.O. y Whittenberger, J.L. (1964) *Int. J. Air Wat. Pollut.*, **8**, 125
- Gubernskij, U.D., Lampert, J.J., Rumjanceva, M.V. y Feldman, U.G. (1969) *Gig. i Sanit.*, **4**, 26
- Holland, W.W. y Reid, D.D. (1965) *Lancet*, **1**, 445
- Holland, W.W. y Stone, R.W. (1965) *Amer. J. Epidem.*, **82**, 92
- Holland, W.W., Reid, D.D., Seltser, R. y Stone, R.W. (1965) *Arch. environm. Hlth*, **10**, 338
- Holland, W.W., Halil, T., Bennett, A.E. y Elliott, A. (1969) *Brit. med. J.*, **2**, 205
- Lawther, P.J., Waller, R.E. y Henderson, M. (1970) *Thorax*, **25**, 525
- van der Lende, R. (1969) *Epidemiology of chronic nonspecific lung diseases (chronic-bronchitis)*, Assen, Van Gorcum (Tesis doctoral, Universidad de Groninga)
- Lunn, J.F., Knowelden, J. y Handyside, A.J. (1967) *Brit. J. Prev. soc. Med.*, **21**, 7
- Lunn, J.F., Knowelden, J. y Roe, J.W. (1970) *Brit. J. soc. prev. Med.*, **24**, 223
- Ministry of Technology (1966) *National survey of smoke and sulphur dioxide: Instruction manual*, Stevenage, Herts, Warren Spring Laboratory
- Reid D.D., Anderson, D.O., Ferris, B.G., Jr y Fletcher, C.M. (1964) *Brit. med. J.*, **2**, 1487
- Schusky, J. (1966) *J. Air Pollut. Control Ass.*, **16**, 72
- Sidorenko, I.V. y Susarova, A.M. (1955) *Trudy chkalovsk. gos. med. Inst.*, **4**, 1
- Task Group on Lung Dynamics for Committee II of the International Radiological Protection Commission (1966) *Hlth Phys.*, **12**, 173
- Toyama, T. y Nakamura, K. (1964) *Industr. Hlth (Kawasaki)*, **2**, 34
- US Dept of HEW (1969) *National Air Pollution Control Administration*, Publication No. AP-49, págs. 99-102
- US PHS Dept of HEW (1965) *US Publ. Hlth Serv. Pub.*, N° 1093
- Yelfimova, E.V. y Gusev, M.I. (1969) *Gig. i Sanit.*, **2**, 3

### 3. MONOXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) proviene sobre todo de los vehículos con motores de gasolina, si bien también tienen importancia las fábricas y otras operaciones industriales donde se queman de forma incompleta combustibles carbonosos. Otras fuentes considerables y con frecuencia olvidadas de este gas son el consumo de cigarrillos (el humo inhalado contiene hasta un 4 % de CO) y los dispositivos domésticos de calefacción que, cuando tiran mal, pueden producir en el interior de la vivienda concentraciones de CO elevadas y a veces mortales.

#### 3.1 Cinética de la reacción del monóxido de carbono con la hemoglobina

El CO inhalado se combina con la hemoglobina, cuya función vital es el transporte del oxígeno. Como el CO tiene por la hemoglobina una afinidad unas 240 veces superior a la del oxígeno, esta combinación reversible tiene por primera consecuencia la reducción de la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos. Además, la presencia de CO en la sangre perturba la disociación de la oxihemoglobina, lo cual reduce aún más la capacidad de transporte del oxígeno.

La relación entre las concentraciones de carboxihemoglobina (COHb) y de oxihemoglobina en la sangre y en el aire puede obtenerse con la ecuación de Haldane, utilizando las constantes obtenidas por Forbes y cols. (1945). En la práctica, las concentraciones de carboxihemoglobina en la sangre dependen de las concentraciones de CO en el aire respirado, de la duración de la exposición y de la ventilación pulmonar, que a su vez está determinada en gran medida por la actividad del individuo. Cuando la concentración de CO en el aire ambiente es inferior a la que mantiene un equilibrio con la sangre, el individuo naturalmente exhala CO. De igual modo, el tiempo necesario para que una persona que está absorbiendo CO llegue a una concentración determinada dependerá de la concentración inicial en la sangre. En reposo se necesitan unas tres horas para que la COHb alcance el 50 % del valor de equilibrio pero el ritmo de la eliminación se acelera por el ejercicio y elevando la presión parcial de oxígeno *del aire inspirado*. En el Cuadro 2 se indican las relaciones entre ciertas concentraciones de CO en el aire ambiente, los tiempos de exposición y las concentraciones sanguíneas. Se parte del supuesto de que la saturación inicial de CO es prácticamente equivalente a cero o « basal » y que el individuo despliega una actividad moderada.

En todo estudio sobre la importancia del CO como contaminante atmosférico hay que tener en cuenta que se trata de un gas que existe

CUADRO 2. RELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES AMBIENTES DE CO, TIEMPOS DE EXPOSICION Y NIVELES DE CARBOXIHEMOGLOBINA<sup>a</sup>

CO Ambiente		Nivel de carboxihemoglobina (%)		
mg/m <sup>3</sup>	ppm	1 hora	8 horas	equilibrio
117	100	3,6	12,9	16,0
70	60	2,5	8,7	10,0
35	30	1,3	4,0	5,0
23	20	0,8	2,8	3,3
12	10	0,4	1,4	1,7

<sup>a</sup> Valores calculados en un individuo medio que despliega una actividad moderada y con un valor inicial « basal ».

normalmente en la sangre en concentraciones hasta del 0,8 % de carboxihemoglobina, como resultado de procesos catabólicos (Sjöstrand, 1949; Coburn y cols., 1969) y que con frecuencia aparece en concentraciones elevadas en la sangre de los fumadores que inhalan el humo del tabaco. Lawther y Commins (1970) y Goldsmith (1970) han estudiado la influencia de la contaminación del aire y del hábito de fumar cigarrillos sobre la concentración sanguínea de carboxihemoglobina. En fumadores se han encontrado concentraciones de CO superiores a una saturación del 15 %. Es importante tener en cuenta que la exposición al CO en el aire no siempre eleva la concentración de este gas en la sangre. Por ejemplo, una exposición continua a 25 ppm de CO terminará dando una saturación del 4 %, sea cual fuere la concentración inicial en la sangre; una persona con una saturación inicial inferior al 4 % absorberá el gas mientras que un fumador con una saturación inicial superior a ese porcentaje y que no siga fumando eliminará el gas hasta que alcance el punto de equilibrio del 4 %.

### 3.2 Efectos sobre el hombre

#### 3.2.1 Efectos sobre la función psicomotora

En una reunión celebrada bajo los auspicios de la New York Academy of Sciences (*Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1970) se estudiaron a fondo los efectos biológicos del CO. Se examinaron muchos efectos bioquímicos menos evidentes, pero para los efectos del presente informe basta con considerar los efectos agudos y crónicos, que pueden deberse simplemente a la hipoxia relativa causada por el gas.

Los primeros trabajos trataban sobre todo de los aspectos medicolegales de la exposición al CO y de la definición de sus efectos tóxicos en el medio industrial. Se ha comprobado que una saturación de carboxihemoglobina del 20 % puede provocar síntomas y alterar la aptitud fun-

cional. En general, hay síntomas como el cansancio y el dolor de cabeza que no se señalan hasta que las saturaciones son muy superiores al 10 % (Lindgren, 1961). Se han observado cefaleas y alteraciones de la coordinación con concentraciones superiores a una saturación del 10 % (Stewart y cols., 1970). Se ha estudiado también detenidamente la posible importancia de concentraciones de carboxihemoglobina demasiado bajas para dar síntomas. McFarland y cols. (1944) descubrieron que con una saturación del 5 % aumenta el umbral visual con escasa iluminación. Más tarde, Schulte (1963) y Beard y Wertheim (1967) afirmaron que esas concentraciones producían trastornos de la percepción y de la aptitud funcional. Aunque estos trabajos han sido muy citados, los resultados estaban viciados por los defectos técnicos del método experimental. Bender y cols. (1971), valiéndose de una técnica de simple anonimato, expusieron a voluntarios sea a 100 ppm de CO, sea al aire ambiente durante dos horas y media, y a continuación practicaron una serie de pruebas psicológicas. Con una saturación del 7,2 % observaron una reducción significativa de la percepción visual, de la habilidad manual y de la capacidad para aprender y realizar ciertos trabajos « intelectuales ». Guest y cols. (1970), utilizando una técnica de doble anonimato, estudiaron los umbrales de fusión de sensaciones visuales y auditivas después de administrar 500 ppm de CO durante una hora (equivalentes a una saturación del 8 %) a 20 voluntarios, sin encontrar ningún efecto a pesar de que la simple administración de 60 mg de fenobarbital aumentaba esos umbrales. Stewart y cols. (1970) estudiaron los efectos de diversas concentraciones de carboxihemoglobina sobre varias pruebas de aptitud funcional y percepción y comprobaron que con saturaciones del 15 al 20 % aparecían cefaleas y alteraciones de la coordinación manual. Hosko (1970) ha demostrado que las respuestas de evocación visual se modifican cuando las concentraciones de carboxihemoglobina pasan del 20 % pero que la actividad electroencefalográfica espontánea no cambia hasta que la saturación se acerca al 33 %.

Al evaluar el significado de esas pruebas de función psicomotora hay que tener en cuenta que el CO no se debe considerar aisladamente. Es muy posible que en estudios ulteriores se descubra que concentraciones demasiado bajas para dar resultados mensurables cuando se administran solas pueden tener efectos en individuos que previamente han tomado alcohol, sedantes, antihistamínicos o medicamentos hipotensores.

### 3.2.2 *Efectos sobre el sistema cardiovascular*

Los efectos del CO sobre el sistema cardiovascular y sobre la oxigenación de tejidos distintos de los del sistema nervioso central pueden ser importantes. Chevalier y cols. (1966) estudiaron las reacciones al CO de individuos sanos y no fumadores y comprobaron que a saturaciones

de un 4 % aproximadamente aumentaba la deuda de oxígeno con el ejercicio. Ayres y cols. (1965, 1969) observaron una disminución del  $P_{O_2}$  arterial y venoso mixto en hombres con una saturación de carboxihemoglobina del 9 % aproximadamente y afirmaron que ese fenómeno podría explicar ciertas alteraciones cardíacas y el aumento observado de la deuda de oxígeno. Ayres y cols. (1970) advirtieron que las diferencias de oxígeno entre las arterias y las venas coronarias aumentaban uniformemente y que el flujo de sangre arterial coronaria se aceleraba cuando la carboxihemoglobina pasaba de una saturación del 5 al 10 %; además, se observaron modificaciones miocárdicas significativas en enfermos con una saturación de carboxihemoglobina superior al 6 %. Es evidente que en la población de cualquier país figuran enfermos con trastornos en la función miocárdica para los que puede ser peligrosa una reducción de la saturación de oxígeno. Es difícil extrapolar sobre una base cuantitativa pero habida cuenta de esos efectos agudos hay que reconocer que existen individuos con muchas enfermedades para los que resultaría evidentemente intolerable un aumento de la hipoxia.

Hasta ahora no se ha tratado de la posible importancia patogénica del CO sino sólo de su intervención en el empeoramiento de enfermedades preexistentes o en la aparición de trastornos funcionales. Los trabajos de Astrup y cols. (1967) sobre el conejo pueden tener gran importancia para esclarecer la etiología de ciertas enfermedades cardiovasculares. Esos investigadores observaron una mayor incidencia de ateroma en conejos alimentados con colesterol y expuestos además a CO, y las alteraciones de las paredes vasculares les hicieron pensar que la relación observada entre las enfermedades cardiovasculares y el consumo de cigarrillos puede muy bien explicarse por la exposición crónica o repetida al CO. Con posterioridad a estos estudios en el animal, el examen de 1 000 trabajadores elegidos al azar en una fábrica de Copenhague (Kjeldsen, 1969) reveló la existencia de una evidente relación entre las elevadas concentraciones de carboxihemoglobina después de fumar y la aparición de arterioesclerosis

### 3.3 Efectos sobre la vegetación

El CO a las concentraciones que suelen medirse no tiene efectos nocivos sobre la vegetación.

### 3.4 Evaluación

Aun cuando está generalmente admitido que es necesario proteger a los individuos contra concentraciones continuas de carboxihemoglobina del 4 % aproximadamente o más, es muy difícil formular pautas de salubridad del aire. Por el hábito de fumar, muchas personas tienen ya concentraciones sanguíneas superiores a ese 4 % mientras que otros fumadores

tienen una concentración inferior pero pueden llegar a ese punto de saturación con una exposición relativamente breve. Puesto que el equilibrio del 4 % se conseguiría con una inhalación constante de 25 ppm, esa concentración es evidentemente nociva. Normalmente, sin embargo, las concentraciones de CO suelen variar considerablemente en el espacio y en el tiempo y, como ya se ha dicho, se necesita bastante tiempo para alcanzar un punto de equilibrio si el CO sanguíneo inicial es bajo. En el Cuadro 3 se indican tres concentraciones de CO ambiente y el tiempo necesario para que la sangre alcance una saturación del 4 %. Se ha seleccionado ese punto de saturación porque las concentraciones superiores parecen ser más peligrosas para los individuos con enfermedades cardiovasculares.

CUADRO 3. CONCENTRACIONES DE CO NECESARIAS PARA ALCANZAR UN NIVEL DE CARBOXIHEMOGLOBINA DEL 4%\*

CO ambiente <sup>a</sup>		Tiempo
mg/m <sup>3</sup>	ppm	horas
29	25	24
35	30	8
117	100	1

\* El Comité advierte expresamente que este cuadro no debe considerarse independientemente del texto correspondiente (véase la sección 3.4).

<sup>a</sup> Valores calculados sobre la base de una actividad moderada, al nivel del mar y con valores iniciales « basales ». Con concentraciones de carboxihemoglobina superiores al 4 % puede aumentar el peligro para los enfermos cardiovasculares.

Puede verse que el tiempo necesario para llegar a un punto de equilibrio depende en gran medida de que el individuo haya adquirido CO por el hábito de fumar o por otras causas antes de su exposición al aire ambiente. Es difícil saber si se prestan mejor a las medidas de protección los individuos susceptibles o los fumadores. Un dilema semejante se plantea ante la necesidad de determinar los grupos de población que han de protegerse absolutamente y a cualquier costo pues es evidente que en toda comunidad urbana existen algunos enfermos graves para los que cualquier « stress » puede resultar intolerable.

### BIBLIOGRAFIA

*Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1970, **174**, 1  
 Astrup, P., Kjeldsen, K. y Wanstrup, J. (1967) *J. Atheroscler. Res.*, **7**, 343  
 Ayres, S.M., Giannelli, S. y Armstrong, R.G. (1965) *Science*, **149**, 193  
 Ayres, S.M., Mueller, H.S., Gregory, J.J., Giannelli, S. y Penny, J.L. (1969) *Arch. environm. Hlth*, **18**, 699

- Ayres, S.M., Giannelli, S., Jr y Mueller, H. (1970) *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **174**, 268
- Beard, R.R. y Wertheim, G.A. (1967) *Amer. J. publ. Hlth*, **57**, 2012
- Bender, W., Göthert, M., Malorny, G. y Sebbesse, P. (1971) *Arch. Toxikol*, **27**, 142
- Chevalier, R.B., Krumholz, R.A. y Ross, J.C. (1966) *J. Amer. med. Ass.*, **198**, 1061
- Coburn, R.F., Blakemore, W.S. y Forster, R.E. (1969) *J. clin. Invest.*, **42**, 1172
- Forbes, W.H., Sargent, F. y Roughton, F.J.W. (1945) *Amer. J. Physiol.*, **143**, 594
- Goldsmith, J.R. (1970) *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **174**, 122
- Guest, A.D.L., Duncan, C. y Lawther, P.J. (1970) *Ergonomics*, **13**, 587
- Hosko, M.J. (1970) *Arch. environm. Hlth*, **21**, 174
- Kjeldsen, K. (1969) *Smoking and atherosclerosis*, Munksgaard, Copenhagen, (Tesis)
- Lawther, P.J. y Commins, B.T. (1970) *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **174**, 135.
- Lindgren, S.A. (1961) *Acta med. scand.*, **167** (Suppl. 356) 1
- McFarland, R.A., Roughton, F.J.W., Halperin, M.H. y Niven, J.I. (1944) *Aviat. Med.*, **15**, 381
- Schulte, J.H. (1963) *Arch. environm. Hlth*, **7**, 524
- Sjöstrand, T. (1949) *Scand. J. clin. Lab. Invest.*, **1**, 201
- Stewart, R.D., Peterson, J.E., Baretta, E.D., Bachand, R.T., Hosko, M.J. y Herrman, A. (1970) *Arch. environm. Hlth*, **21**, 154

#### 4. OXIDANTES FOTOQUIMICOS

La contaminación atmosférica de tipo oxidante es frecuente en las zonas urbanas. Está causada por la combinación química, a la luz del sol, de hidrocarburos reactivos con óxidos de nitrógeno que produce ozono, nitratos de peroxiacilo, aldehidos y otros compuestos químicos complejos. Los hidrocarburos proceden sobre todo del petróleo y de los gases de escape de los vehículos de motor y los óxidos de nitrógeno son emitidos por estos últimos vehículos y por dispositivos fijos de combustión. Entre los oxidantes fotoquímicos que se estudian figuran el ozono (O<sub>3</sub>), los nitratos de peroxiacilo (NPA) y otros productos oxidantes de la compleja reacción atmosférica, que se miden por diversos métodos pero que se expresan en O<sub>3</sub>. Como sucede con otros contaminantes, por lo general hay que recurrir a los métodos epidemiológicos para determinar si los oxidantes fotoquímicos, a las concentraciones que se presentan en las comunidades, tienen efectos nocivos sobre la salud del hombre.

##### 4.1 Efectos sobre el hombre

###### 4.1.1 Efectos agudos: mortalidad

En los estudios hechos en Los Angeles no se descubrió ninguna relación causal entre el aumento de la mortalidad y los « días de alarma »

cuando las concentraciones de oxidantes variaron entre 0,50 y 0,90 ppm (US Dept HEW, 1970)

#### 4.1.2 Efectos agudos sobre el sistema respiratorio

Se comprobó la existencia de una relación estadísticamente significativa entre las crisis de asma y los días en que los oxidantes alcanzaban concentraciones atmosféricas superiores a  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,25 ppm) pero no pudo descubrirse esa relación en los días de concentraciones medias de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,13 ppm) (Schoettlin y Landau, 1961). Los días que se observaban daños en las plantas de las estaciones oficiales de vigilancia, el número de personas que sufrían ataques de asma era considerablemente mayor. No se observó ninguna correlación significativa entre el número de personas afectadas y las concentraciones de monóxido de carbono y de partículas en suspensión.

Motley y cols. (1959) observaron que la función pulmonar de enfermos pulmonares crónicos disminuía cuando quedaban expuestos al «smog» fotoquímico. Se encontraron concentraciones de oxidantes de 390 a  $1\,370 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,2-0,7 ppm). La función pulmonar de esos enfermos mejoró cuando se les hizo respirar aire filtrado pero empeoró de nuevo cuando se les volvió a exponer al aire ambiente. En un estudio análogo, Rokaw y Massey (1962) comprobaron que los individuos expuestos a una concentración de oxidantes de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,06 ppm) no sufrían un empeoramiento de su función pulmonar.

Schoettlin (1962) hizo un estudio con hombres de más de 60 años en la zona de Los Angeles. La mitad de la población estudiada padecía una enfermedad respiratoria crónica y, una vez clasificada por edad y por el hábito de fumar, fue comparada con el grupo testigo del mismo sexo. En el grupo de enfermos respiratorios se observó que un 11 % de la variación de la sintomatología (tos, expectoración, disnea y sibilancias) podía obedecer a las oscilaciones de las concentraciones medias de oxidantes, mientras que un 17 % se podía explicar por la variación en el máximo de oxidantes. Los valores correspondientes en el grupo testigo eran de 8 % y de 4 %, respectivamente. Al determinar la cantidad de precursores de los oxidantes haciendo circular el aire ambiente a través de una cámara de irradiación, un 30 % de la variación de los síntomas podría explicarse por este parámetro que dio un valor del 4 % en el grupo testigo. El umbral de la concentración de oxidantes para esas asociaciones oscilaba entre 60 y  $1\,350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,03-0,69 ppm).

En otros tres estudios no se pudo comprobar que los oxidantes tuviesen efectos sobre la salud (McMillan y cols., 1969; Wayne y Wehrle, 1969; Pearlman y cols., 1971). Es posible que estos resultados negativos sean válidos pero también cabe la posibilidad de que se deban a la insensibilidad de las pruebas, a la insuficiente magnitud de la muestra o al estudio de variaciones limitadas de concentraciones relativamente bajas de oxidantes.

#### 4.1.3 Rendimiento atlético

Wayne y cols. (1967) estudiaron la influencia de los oxidantes sobre el rendimiento atlético comparando los tiempos registrados en una carrera de fondo con tiempos anteriores de la misma competición y los mismos atletas en la zona de Los Angeles. Observaron que si durante la hora anterior a la carrera la concentración de oxidantes era superior a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,1 ppm) un número considerable de atletas tardaban más tiempo en su carrera, es decir, obtenían peores resultados, mientras que si los mencionados valores de oxidantes se producían dos o tres horas antes de la competición o en el curso de la misma, no existía esa asociación. Se midieron también otros contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y las partículas en suspensión, pero no pudo comprobarse que guardasen alguna relación con la disminución del rendimiento a las concentraciones registradas.

Smith (1965), en un grupo de 32 estudiantes universitarios, estudió los efectos de los NPA sobre el consumo de oxígeno en reposo y durante un ejercicio de cinco minutos en bicicleta ergométrica. Sólo se utilizó la concentración de NPA de  $1480 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,3 ppm), bastante elevada por comparación a la que existe en el ambiente normal; el esfuerzo fue de  $900 \text{ kg}/\text{m}^2$  por minuto. Se observó que el gasto de oxígeno aumentaba por relación al del grupo testigo durante el esfuerzo, pero no en reposo.

#### 4.1.4 Molestias

Todos los que se han visto expuestos a oxidantes fotoquímicos conocen los efectos agudos de la contaminación atmosférica de tipo oxidante. Se produce una irritación manifiesta de ojos, nariz y garganta. En lo que respecta a la irritación ocular se han logrado preparar curvas de dosis-respuesta bastante precisas (Richardson y Middleton, 1958) pero no se ha podido hacer lo mismo con los demás síntomas, tal vez a causa del carácter complejo de este tipo de contaminación y de sus mecanismos de acción.

#### 4.1.5 Efectos crónicos sobre el hombre

Aunque se ha comprobado que las modificaciones agudas de la concentración de oxidantes afectan al hombre, aún queda por demostrar que exista una relación entre esas variaciones y las enfermedades respiratorias crónicas.

### 4.2 Estudios experimentales

En estudios de laboratorio hechos sobre seres humanos se ha observado que la inhalación de ozono a una concentración de 1 180-1 570  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(0,6-0,8 ppm) durante dos horas producía una disminución de la capacidad de difusión para el CO, una baja de la adaptabilidad dinámica, una reducción de la capacidad vital y una disminución del VEF<sub>0,75</sub> (véase la sección 2), por comparación a los valores previos a la exposición (Young y cols., 1964; Silverman y cols., 1970).

En experiencias en las que varias especies animales fueron previamente expuestas al ozono a concentraciones que se dan en el aire ambiente (160 µg/m<sup>3</sup>, es decir 0,08 ppm o más) se observó que dicha exposición aumenta la susceptibilidad de los animales a los aerosoles infecciosos (Coffin y cols., 1968; Gardner y cols., 1971).

Aunque en el ser humano no se han observado efectos semejantes, conviene tenerlos en cuenta en el momento de establecer las pautas, pues los mecanismos fundamentales afectados por el ozono y posiblemente por otros gases oxidantes son comunes a todas las especies de mamíferos.

No se sabe si el ser humano puede desarrollar una tolerancia al ozono como se ha visto en el animal (Stokinger y Scheel, 1962). A este respecto, sin embargo es necesario establecer una distinción entre efectos agudos y crónicos. Los resultados obtenidos en estudios hechos recientemente con animales de laboratorio indican que la tolerancia al ozono puede servir sobre todo para evitar su muerte por edema pulmonar agudo pero que no afecta a las sutiles alteraciones de los mecanismos defensivos pulmonares ni influye sobre la aparición de lesiones crónicas provocadas por exposiciones prolongadas a bajas concentraciones (Coffin y Gardner, 1971). Como estas son precisamente las alteraciones que puede causar la exposición a las concentraciones ambientales de oxidantes, no es prudente por el momento confiar en el mecanismo de tolerancia para la protección del hombre.

### **4.3 Efectos sobre la vegetación**

Concentraciones inferiores a las que provocan molestias e irritación ocular, pero con tiempos de exposición más prolongados, causan daños en las especies vegetales sensibles.

### **4.4 Evaluación**

En el Cuadro 4 se exponen las conclusiones del Comité de Expertos acerca de las concentraciones asociadas a diversos efectos sobre el hombre que podrían utilizarse como pautas de salubridad del aire.

CUADRO 4. EFECTOS PREVISTOS DE LOS OXIDANTES FOTOQUIMICOS SOBRE LA SALUD DE GRUPOS DE POBLACION VULNERABLES \*

aumento de la mortalidad	aumento de las crisis asmáticas	disfunción pulmonar	molestias e irritación ocular
no se ha señalado hasta ahora	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>a</sup> una hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ una hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ una hora

\* El Comité advierte expresamente que este cuadro no debe considerarse independientemente del texto correspondiente.

<sup>a</sup> Oxidante medido por el método del KI neutro amortiguado y expresado en ozono.

## BIBLIOGRAFIA

- Coffin, D.L. y Gardner, D.E. (1971). En: *Proceedings of the Fourth International Symposium on Inhaled Gases and Vapours, Brighton, England, July, 1971*, Oxford y Londres, Pergamon
- Coffin, D.L., Gardner D.E. y Holzman, R.S. (1968) *Arch. environm. Hlth*, **16**, 633
- Gardner, D.E., Pfitzer, E.A., Christian, R.T. y Coffin, D.L. (1971) *Arch. intern. Med.* **127**, 1078
- McMillan, R.S., Wiseman, D.H., Hanes, B. y Wehr, P.F. (1969) *Arch. environm. Hlth* **18**, 941
- Motley, H.L., Smart, R.H. y Leftwich, C.I. (1959) *J. Amer. med. Ass.*, **171**, 1469
- Pearlman, M.E., Finklea, J.F., Shy, C.M., Van Bruggen, J.B. y Newill, V.A. (1971) *Environm. Res.*, **4**, 129
- Richardson, N.A. y Middleton, W.C. (1958) *Heat. Pip. Air Condit.*, **30**, 147
- Rokaw, S.N. y Massey, F. (1962) *Amer. Rev. resp. Dis.*, **86**, 703
- Schoettlin, C.E. (1962) *Amer. Rev. resp. Dis.*, **86**, 878
- Schoettlin, C.E. y Landau, E. (1961) *Publ. Hlth Rep. (Wash.)*, **76**, 545
- Silverman, F., Bell, G.M., Burnham, C.D., Hazucha, M., Mantha, J., Pengelly, L.D. y Bates, D.V. (1970) *Physiologist*, **13**, 309
- Smith, L. (1965) *Amer. J. Publ. Hlth*, **55**, 1460
- Stokinger, H.E. y Scheel, L.D. (1962) *Arch. Indus. Hlth*, **4**, 327
- US Dept of HEW (1970) *National Air Pollution Control Administration*, Publication N° AP-63
- Wayne, W.G. y Wehrle, P.F. (1969) *Arch. environm. Hlth*, **19**, 315
- Wayne, W.S., Wehrle, P.F. y Carroll, R.E. (1967) *J. Amer. med. Ass.*, **199**, 901
- Young, W.A., Shaw, D.B. y Bates, D.V. (1964) *J. appl. Physiol.*, **19**, 765

## 5. BIOXIDO DE NITROGENO

El bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y el óxido nítrico (NO) se designan, a menudo, con la denominación conjunta de óxidos de nitrógeno o  $\text{NO}_x$ . El NO es emitido por los vehículos de motor y por los dispositivos fijos de combustión, mientras que el  $\text{NO}_2$  tiene su origen en las industrias química

y de la nitración y se presenta conjuntamente con el proceso oxidante fotoquímico. La mayor parte de los estudios relativos a los efectos de los óxidos de nitrógeno se han ocupado sobre todo del  $\text{NO}_2$  pues aún no se conoce bien la actividad del  $\text{NO}$ , aunque pudiera suceder que estudios ulteriores revelasen que éste es aún más importante que el primero.

Debe advertirse que el  $\text{NO}_2$  puede ejercer efectos biológicos distintos de los que se observan en asociación con el complejo de la contaminación fotoquímica. El gas puede existir como contaminante primario en zonas no afectadas por la contaminación oxidante fotoquímica y, por consiguiente, debe ser considerado como un contaminante independiente que exige el establecimiento de criterios y pautas distintos.

### 5.1 Efectos sobre el hombre

En un estudio hecho con escolares de 6 a 8 años de edad, en Chattanooga (Tenn., Estados Unidos de América), se compararon dos zonas testigo de contaminación «baja» con dos de contaminación «elevada» (una por el  $\text{NO}_2$  y otra por partículas en suspensión) y se puso de manifiesto que los valores del  $\text{VEF}_{0,75}$  eran considerablemente más altos en la zona testigo que en la de contaminación «elevada» por  $\text{NO}_2$ . Las concentraciones de partículas en suspensión y de  $\text{SO}_2$  no parecían intervenir en los efectos observados sobre la salud. Otra observación fue que la incidencia de enfermedades respiratorias agudas entre los escolares, sus hermanos y sus padres era considerablemente mayor en la zona de contaminación «elevada» por  $\text{NO}_2$  (Shy y cols., 1970a, 1970b; Pearlman y cols., 1971). En esa zona se observó asimismo una mayor frecuencia de infecciones de las vías respiratorias bajas en las muestras de niños de 2-3 años expuestos desde su nacimiento, mientras que no se registró ese aumento entre los que sólo habían estado expuestos durante un año o menos.

La concentración media de  $\text{NO}_2$  en la zona de contaminación «elevada» era de  $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (0,10 ppm) y fue superada durante el 40 %, el 18 % y el 9 % de los días, respectivamente, en las tres estaciones de vigilancia; en las zonas testigo esa concentración fue superada en un 17 % de los días sólo en una de las estaciones.

### 5.2 Estudios experimentales

La exposición de determinadas especies animales a las concentraciones de  $\text{NO}_2$  que se encuentran en el aire ambiente han provocado alteraciones celulares y trastornos en los elementos estructurales de los pulmones así como un aumento de la mortalidad debida a aerosoles infecciosos (Ehrlich y Henry, 1968; Freeman y cols., 1968; Gardner y cols., 1969; Blair y cols., 1969; Henry y cols. 1970).

### 5.3 Evaluación

Son escasos los datos publicados acerca de los efectos de los óxidos de nitrógeno sobre la salud humana. Aunque se ha demostrado que a bajas concentraciones poseen una actividad biológica sobre los animales y las plantas, el Comité estima que por el momento la información disponible es insuficiente para basar en ella unas pautas específicas de salubridad del aire.

### BIBLIOGRAFIA

- Blair, W.H., Henry, M.C. y Ehrlich, R. (1969) *Arch. environm. Hlth*, **18**, 186  
Ehrlich, R. y Henry, M.C. (1968) *Arch. environm. Hlth*, **17**, 860  
Freeman, G., Stevens, R.J., Crane, S.C. y Furiosi, H.J. (1968) *Arch. environm. Hlth*, **17**, 181  
Gardner, E.E., Holzman, R.S. y Coffin, D.L. (1969) *J. Bact.*, **98**, 1041  
Henry, M.C., Findlay, J., Spangler, J., y Ehrlich, R. (1970) *Arch. environm. Hlth*, **20**, 566  
Pearlman, M.E., Finklea, J.F., Creason, J.P., Shy, C.M., Young, M.M. y Horton, R.J.M. (1971) *Pediatrics*, **47**, 391  
Shy, C.M., Creason, J.P., Pearlman, M.E., McClain, K.E. y Benson, F.B. (1970a) *J. Air Pollut. Control Ass.*, **20**, 539  
Shy, C.M., Creason, J.P., Pearlman, M.E., McClain, K.E. y Benson, F.B. (1970b) *J. Air Pollut. Control Ass.*, **20**, 583

## 6. APLICACION ADMINISTRATIVA DE LOS CRITERIOS Y PAUTAS DE SALUBRIDAD DEL AIRE

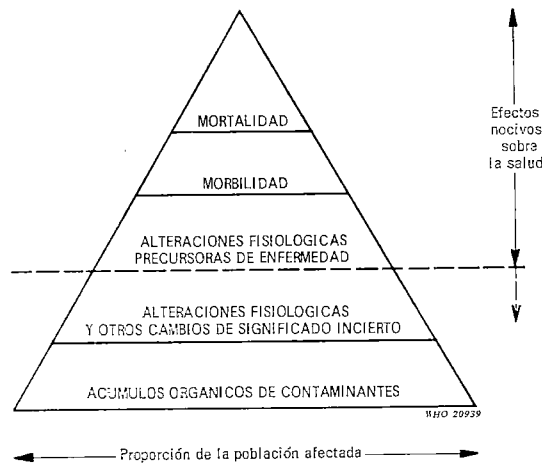
### 6.1 Conceptos básicos

Las relaciones existentes entre las enfermedades humanas y la exposición a la contaminación no son sencillas ni se conocen con exactitud. La muerte y la enfermedad representan sólo el extremo límite de toda una gama de respuestas (Fig. 1). Además, algunos factores del medio pueden afectar especialmente a ciertos grupos de población, en particular a los más jóvenes, a los más viejos, a los que padecen enfermedades y a los expuestos a otros productos tóxicos o a otros « stress ».

Para utilizar los criterios y pautas de salubridad del aire en la evaluación de riesgos y en la fijación de normas, lo ideal sería disponer de una serie completa de curvas dosis-respuesta para los distintos contaminantes atmosféricos, para los diferentes efectos y para los distintos tipos de población expuestos. Sin embargo, aún no se han podido reunir esos requisitos para ninguna de las sustancias contaminantes y aún es más difícil que lleguen a reunirse para las combinaciones de sustancias que con frecuencia se encuentran en el aire ambiente.

A pesar de este inconveniente, el Comité estima, según su leal saber y entender, que ciertas concentraciones de contaminantes atmosféricos provocan efectos nocivos sobre la salud. Habida cuenta de la imprecisión de las relaciones dosis-respuesta, es prudente utilizar un coeficiente de seguridad aun cuando las normas procedan de pautas sobre calidad del aire. La magnitud de dicho coeficiente de seguridad dependerá de muy diversas consideraciones: puede tratarse de consideraciones políticas en las que se tengan en cuenta sobre todo los análisis de costos y beneficios; puede depender de la significación estadística y de la exactitud de los datos y, en particular, de si los datos experimentales se han obtenido en animales o en seres humanos; o puede, por último, depender del efecto específico contra el que se trata de proteger al individuo, que puede variar desde su muerte hasta cualquier alteración menos grave.

FIG. 1. ESPECTRO ESQUEMATICO DE LA RESPUESTA BIOLÓGICA A LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES<sup>a</sup>



<sup>a</sup> Adaptado de un diagrama del United States Congress Document N° 92-241, 1972.

Estas normas pueden variar de un país a otro y, con el tiempo, dentro de un mismo país. En la preparación de normas nacionales sobre contaminación del aire<sup>1</sup> se deben prever tanto las normas que habrá que cumplir en los años siguientes como los objetivos a largo plazo. En ciertos países y en un futuro inmediato puede ser necesario basar las normas en concentraciones admisibles, con el objetivo intermedio de

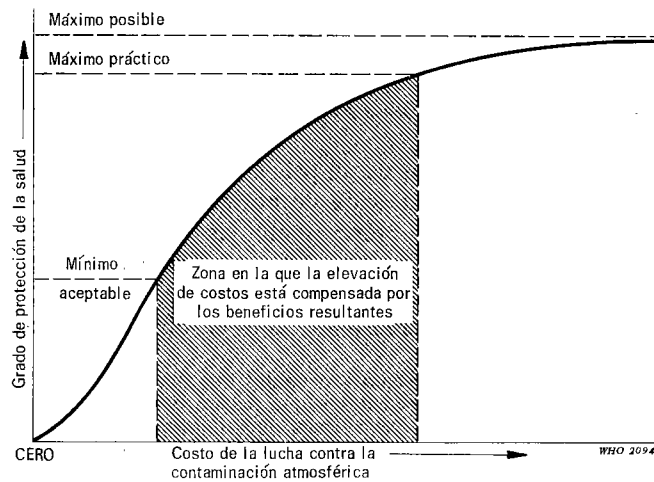
<sup>1</sup> Las *normas* de calidad del medio son pautas que han sido adoptadas por los gobiernos y otras autoridades competentes y que tienen, por consiguiente, fuerza de ley. En ciertos casos, sin embargo, las normas pueden comprender recomendaciones cuya estricta aplicación no es obligatoria (*Org. mund. Salud Ser. Inf. técn.*, 1970, N° 439, pág. 41).

evitar enfermedades y fallecimientos en subgrupos susceptibles de la población. Por supuesto, el objetivo a largo plazo ha de ser la protección contra todo posible efecto sobre la salud del hombre, incluidas las alteraciones somáticas y genéticas, y para asegurar dicha protección será necesario adoptar un coeficiente de seguridad. Ello significa que las concentraciones de contaminantes deben ser lo más bajas posibles y que habrá que reducir al mínimo el número de personas expuestas. Sin embargo, debe advertirse que la noción de norma para proteger a la población de un riesgo considerable es puramente estadística y se basa necesariamente en la suma de casos individuales de daño considerable. Evidentemente, la adopción de una norma de ese tipo no implica la protección de todos y cada uno de los individuos.

## 6.2 Costos de la protección de la salud y de la lucha contra la contaminación del aire

En la figura 2 se representan en forma de diagrama esquemático varios de los factores más importantes que intervienen en el proceso de adopción de decisiones acerca de la lucha contra la contaminación atmosférica. Como puede verse, el grado de protección de la salud que se alcanza es una función de los costos de la lucha contra la contaminación. La protección mínima aceptable es, cuando menos, la necesaria para que el individuo se mantenga en vida y, como se ha dicho antes, las normas intermedias que se adopten para la lucha contra la contaminación del aire deben proteger también contra las enfermedades.

FIG. 2. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL GRADO DE PROTECCIÓN DE LA SALUD COMO FUNCION DEL COSTO DE LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION DEL AIRE



El grado de protección de la salud que se elija por encima del mínimo aceptable es una cuestión de decisión política. Las autoridades competentes habrán de decidir qué grado de protección conviene adoptar para su sociedad. Los aumentos de la protección por encima del mínimo aceptable se obtienen, en general, a cambio de incrementos cada vez mayores del costo de la lucha. Además, el costo del programa de lucha está directamente relacionado con la fecha fijada para la ejecución de las operaciones; por ejemplo, es más caro cumplir los objetivos previstos en tres años que en diez años. La zona en la que se obtiene un aumento de la protección de la salud (beneficio) con un mayor costo de las operaciones de lucha (zona de rayado oblicuo en la figura 2) es asimismo la región donde han de adoptarse decisiones de carácter social. Al fijar el grado de protección deseado habrán de tenerse en cuenta, naturalmente, los efectos de la contaminación atmosférica existente pero tampoco carecen de importancia otras consideraciones de carácter social, cultural y económico, así como la magnitud de los demás problemas sanitarios.

Las autoridades competentes en los problemas del medio y responsables de la formulación de recomendaciones para la lucha contra la contaminación por óxidos de azufre y partículas en suspensión se enfrentan con otro problema: la relación entre esos contaminantes varía de unos países a otros y no existe información sobre efectos equivalentes de diversas concentraciones de ambos contaminantes.

### **6.3 Relaciones entre las normas basadas en diferentes promedios**

En el presente informe se describen los efectos en relación con las concentraciones de contaminantes medidas durante cortos periodos y durante periodos más largos, indicando que distintos tiempos de exposición pueden provocar diferentes efectos. Esto representa un problema para el organismo responsable de la lucha contra la contaminación atmosférica, pues ha de cerciorarse de que las normas de salubridad del aire adoptadas protegerán contra los efectos tanto de las exposiciones breves como de las prolongadas. Para resolver este problema es preciso conocer, por ejemplo, la relación que existe entre el valor anual medio para 24 horas y los valores diarios de 24 horas. Si se sabe que los efectos contra los que se trata de proteger al individuo pueden producirse con una exposición de 24 horas o menos, en toda medida de lucha en la que se fije un valor anual medio para 24 horas habrán de tenerse en cuenta las variaciones previstas y determinar el número de días al año en que pueden alcanzarse las concentraciones especificadas. Del mismo modo, si el efecto nocivo está causado por la exposición a un determinado valor anual medio para 24 horas, en el valor para 24 horas que se fije habrán de tenerse en cuenta las variaciones previstas, de forma que no se sobrepase la media anual. De todos modos, conviene estudiar más a fondo esta cuestión.

La preparación de normas nacionales de calidad del aire exige que en las investigaciones sobre pautas de salubridad del aire se tengan en cuenta no sólo las concentraciones admisibles de contaminantes sino también la calidad deseable para la atmósfera. Aunque en un futuro inmediato tal vez sea necesario basar las normas en concentraciones admisibles, a largo plazo el objetivo debiera ser el logro de la deseada calidad de la atmósfera. El hombre debe ser capaz no sólo de sobrevivir sino también de gozar de la vida.

## **7. SELECCION DE OBJETIVOS A CORTO PLAZO Y A LARGO PLAZO**

### **7.1 Objetivos a corto plazo**

El mandato del Comité consistía esencialmente en formular criterios y pautas de salubridad del aire en relación con ciertos contaminantes del medio urbano. En las secciones precedentes se han presentado los datos necesarios, que pueden ser útiles para los países que deseen establecer normas de salubridad del aire. En la sección 6 se han examinado los principios generales de la interpretación de los criterios y pautas de salubridad del aire destinados a la preparación de normas y se ha advertido que las normas, sobre todo las que se elijan como objetivos a corto plazo, pueden dar resultados distintos en diferentes países según las circunstancias de la exposición, la situación social y económica y la importancia de otros problemas sanitarios. Basándose en los actuales conocimientos, el Comité estima que la única declaración general que puede hacer es que es evidente la necesidad de evitar los efectos graves.

### **7.2 Objetivos a largo plazo**

La situación es en cierto modo diferente en lo que se refiere a los objetivos a largo plazo. Sin dar prioridad a los efectos nocivos de los contaminantes atmosféricos sobre otros problemas de salud, el Comité estima que la exposición a los contaminantes atmosféricos examinados en este informe debe mantenerse al nivel más bajo posible, pues por ahora no se han determinado exactamente cuáles son las concentraciones inferiores al umbral y probablemente aún se tardará mucho tiempo en poder determinarlas con certeza suficiente.

Como los efectos sobre la salud de los contaminantes antes estudiados se conocen tanto peor cuanto más bajas son sus concentraciones, cualquier predicción sobre los posibles efectos de concentraciones inferiores a las que se han examinado en las secciones precedentes será una mera conjetura. No obstante, con la información disponible puede fijarse un nivel entre esas concentraciones y la concentración natural del medio que, a juicio

del Comité, debiera adoptarse como objetivo final, con la esperanza de que esa concentración intermedia no provoque ningún tipo de efecto nocivo. Teniendo en cuenta todos los datos disponibles, el Comité ha llegado a la conclusión de que con los conocimientos actuales pueden formularse las siguientes recomendaciones en tanto que objetivos a largo plazo destinados a evitar los efectos nocivos que podrían producir los contaminantes atmosféricos estudiados (Cuadro 5). Debe advertirse, sin embargo, que se trata de recomendaciones provisionales que pueden modificarse a medida que se disponga de nuevos datos sobre las relaciones dosis-respuesta en distintas poblaciones.

CUADRO 5. OBJETIVOS A LARGO PLAZO RECOMENDADOS \*

Contaminantes y método de medición		Concentración límite
<i>Oxidos de azufre</i> <sup>a</sup> — British Standard Procedure <sup>b</sup>	media anual	60 µg/m <sup>3</sup>
	98 % de las cifras obtenidas <sup>c</sup> inferiores a	200 µg/m <sup>3</sup>
<i>Partículas en suspensión</i> <sup>a</sup> — British Standard Procedure <sup>b</sup>	media anual	40 µg/m <sup>3</sup>
	98 % de las cifras obtenidas <sup>c</sup> inferiores a	120 µg/m <sup>3</sup>
<i>Monóxido de carbono</i> — infrarrojos no dispersivos <sup>b</sup>	promedio de 8 horas	10 mg/m <sup>3</sup>
	máximo de 1 hora	40 mg/m <sup>3</sup>
<i>Fotoquímicos</i> — oxidante medido por el método del KI neutro amortiguado, expresado en ozono	promedio de 8 horas	60 µg/m <sup>3</sup>
	máximo de una hora	120 µg/m <sup>3</sup>

\* El Comité advierte expresamente que este cuadro no debe considerarse independientemente del texto correspondiente (véase la sección 7.2).

<sup>a</sup> Los valores correspondientes a los óxidos de azufre y a las partículas en suspensión sólo son aplicables conjuntamente.

<sup>b</sup> Estos no son necesariamente los métodos recomendados sino que indican aquéllos en los que se han basado las unidades expuestas. Si se utilizan otros métodos puede ser necesario proceder al correspondiente reajuste.

<sup>c</sup> El 2 % permisible de observaciones sobre este límite no debe hacerse en días consecutivos.

## 8. RECOMENDACIONES

1) Los gobiernos deben establecer y mantener en continua revisión sus propias normas nacionales de salubridad del aire como parte de sus programas de lucha contra la contaminación atmosférica. Las normas de salubridad del aire deben tener como objetivo primordial la protección de la salud. A juicio del Comité, las concentraciones de contaminantes atmosféricos y los correspondientes efectos examinados en el presente informe pueden dar pautas útiles para el logro de ese objetivo.

2) Es preciso igualmente fijar objetivos a largo plazo siguiendo las orientaciones que se indican en el Cuadro 5 y revisar periódicamente los progresos realizados hacia su cumplimiento en el contexto del desarrollo social y económico y de otros problemas de salud pública.

3) Al establecer normas de salubridad del aire, los gobiernos deben tener en cuenta, además de los efectos de los contaminantes sobre la salud,

los que éstos pueden tener sobre el clima, la vegetación, la vida animal y los distintos materiales, así como la calidad estética del medio ambiente. Esos efectos tienen considerables repercusiones sociales, culturales y económicas, y a veces son indicadores de la salubridad del aire más sensibles que los efectos sobre la salud.

4) Además de fijar la concentración límite del contaminante de que se trate, las normas de salubridad del aire deben especificar los métodos de medición, el periodo medio en el que han de medirse las concentraciones y la frecuencia con que puede sobrepasarse el límite. Al mismo tiempo debe prepararse un plan detallado para la aplicación de las normas en el que se incluyan los sistemas de vigilancia adecuados para evaluar la exposición de las poblaciones.

5) Los datos actualmente disponibles son insuficientes, por lo cual deben realizarse nuevos estudios sobre poblaciones determinadas expuestas a concentraciones de contaminantes relativamente altas o relativamente bajas, utilizando planes de estudio comparables y métodos uniformes para medir las concentraciones de contaminantes y las respuestas biológicas. Se recomienda igualmente que la OMS fomente las investigaciones internacionales en cooperación en aquellas regiones donde existen actualmente formas inusitadas de contaminación atmosférica y que colabore con los Estados Miembros en la ejecución de estudios epidemiológicos con objeto de obtener datos comparables acerca de los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud.

6) Es preciso realizar nuevos estudios experimentales sobre voluntarios y sobre animales con el fin de esclarecer los mecanismos de acción de los contaminantes del medio y de obtener índices nuevos y más fidedignos utilizables en los estudios epidemiológicos.

7) La OMS debe tomar la iniciativa de preparar y adoptar métodos de referencia para la medición de los contaminantes atmosféricos y para los estudios epidemiológicos. Ello permitiría eliminar algunas de las dificultades con que tropieza la comparación y la evaluación de los datos disponibles acerca de los efectos de los contaminantes sobre la salud.

8) Conviene organizar un sistema que permita a la OMS reunir de forma continua y sistemática datos relativos a los efectos de los contaminantes del medio sobre la salud, estudiar la utilidad de las informaciones en relación con los criterios y pautas aplicables al establecimiento de normas de salubridad del aire y del medio y vigilar los nuevos procesos técnicos y los productos químicos nuevos con el fin de descubrir posibles contaminantes del medio.

9) La OMS debiera publicar estudios críticos detallados de cada contaminante.

---