

NACIONES UNIDAS
CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



Distr.
GENERAL

E/4457/Add.1
29 febrero 1968
ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLES

44.º período de sesiones
Tema 5 c) del programa

CUESTIONES RELATIVAS A LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA

CONTAMINACION DEL AMBIENTE Y SU CONTROL

Informe de la Organización Mundial de la Salud

ANEXOS

- I. Estudio sobre la contaminación del medio
- II. Centros internacionales de referencia de la OMS
- III. Información complementaria de la OMM sobre contaminación de la atmósfera

ANEXO I

ESTUDIO SOBRE LA CONTAMINACION DEL MEDIO

Este documento ha sido preparado para su publicación por el Dr. W.H.H. Jebb, Director del Laboratorio de Sanidad Pública, Oxford (Reino Unido), y contiene las opiniones colectivas de diversos grupos de expertos acerca de los problemas de contaminación del aire, el agua y el suelo. En él se resumen sus conclusiones principales y sus recomendaciones relativas a las investigaciones que deben realizarse.

INDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCION	1
CONCEPTOS BASICOS EN LA EVALUACION DE LOS RIESGOS DEL AMBIENTE . . .	3
Absorción y distribución.	4
La importancia de la variabilidad normal	5
Efectos sobre los sistemas reguladores	5
TENDENCIAS RECIENTES EN LA CONTAMINACION DEL MEDIO	6
AGENTES DE TRASPASO DE LA CONTAMINACION AL HOMBRE	8
I - CONTAMINACION DEL AIRE	9
Fines de las investigaciones de la contaminación del aire.	9
Principios y métodos de muestreo.	12
Medición de la contaminación del aire.	15
Los efectos biológicos como indicadores de la contaminación.	24
Elección de dispositivos e instrumentos	24
Naturaleza del problema	25
Instrumentos para el muestreo de partículas contaminantes.	27
Gases y vapores.	28
Métodos indirectos	28
Mediciones meteorológicas.	29
Equipo auxiliar	29
Comunicación de los resultados	29
La meteorología y las mediciones de la contaminación atmosférica	31
Peligro que encierran para el hombre algunos contaminantes atmosféricos	34
Peligros a largo plazo de la contaminación del aire	39
Mecanismo de la acción contaminadora y absorción por las vías respiratorias, y métodos para estudiarlo	40
Indicios de los efectos a largo plazo en el hombre	42

INDICE (continuación)

	<u>Página</u>
Indicios de los efectos en las vías respiratorias, etc., a base de estudios de laboratorio	43
Exposición combinada	43
Estudios funcionales	44
Estudios bioquímicos	45
Efectos sobre las facultades reproductivas y la genética de los animales	46
Almacenamiento de contaminantes.	46
Generación de tumores	47
Control y prevención de la contaminación del aire	47
II - CONTAMINACION DEL AGUA	49
Tendencias y significado sanitario de la creciente contaminación	49
Contaminación química del agua	51
Fuentes de los contaminantes	51
Naturaleza y concentración de los contaminantes	52
Normas toxicológicas	56
Productos alimenticios acuáticos	57
Problemas actuales	57
Detergentes sintéticos y sus residuos	57
Otras sustancias orgánicas sintéticas.	59
Peligros a largo plazo de la contaminación del agua	62
Elementos metálicos presentes en el agua	64
Plaguicidas presentes en el agua	67
III - CONTAMINACION DEL SUELO	69
Su magnitud y su significado para la salud	69
Contaminación química del suelo	70

/...

INDICE (continuación)

	<u>Página</u>
PROYECTOS DE INVESTIGACION	74
Generalidades	74
Investigación de la mutagenicidad y carcinogénesis en relacion con la contaminación del aire, agua y alimentos	75
Mutagenicidad	75
Carcinogénesis.	77
Contaminación del aire	80
Métodos para investigar la contaminación del aire	80
Contaminación del agua	82
Investigaciones sobre la contaminación del agua	82
Investigaciones corrientes.	83
Otros estudios de epidemiología en el hombre	85
PROBLEMAS PARA LOS QUE SE REQUIEREN INVESTIGACIONES	89
Unificación de las observaciones	92
Experimentos con animales	93
Estudios de enzimas	93
Metabolización de los contaminantes absorbidos.	94
Estudios carcinogénicos y mutagénicos	94
Efectos a largo plazo de los contaminantes sobre el proceso de envejecimiento.	95

APENDICE I

Miembros de grupos científicos sobre diversos aspectos
de contaminación del medio, reunidos en Ginebra entre
marzo de 1963 y noviembre de 1965

APENDICE II

Bibliografía escogida

ESTUDIOS SOBRE LA CONTAMINACION DEL MEDIO

Desde 1963, varios grupos científicos interesados en diversos aspectos de la contaminación del medio se han reunido en Ginebra y sus recomendaciones figuran en el documento Microchemical Pollutants in the Environment (MHO/PA/110.63) y los informes presentados al Director General por el Grupo Científico sobre estimación biológica de los niveles de contaminación del agua (MHO/PA/136.64), el Grupo Científico sobre aspectos biológicos de la contaminación microquímica de sistemas de suministro de agua (MHO/PA/143.64), el Grupo Científico sobre investigaciones relacionadas con la contaminación del medio (PA/236.64); el Grupo Científico sobre efectos a largo plazo de los nuevos contaminantes en la salud (PA/37.65), y el Grupo Científico sobre identificación y medición de contaminantes del aire (PA/66.19). Los informes presentados al Director General no han sido publicados, ni se piensa hacerlo, pero los nombres de los miembros de cada uno de los grupos figuran en el apéndice I.

En este documento se resumen las conclusiones y recomendaciones importantes de estos grupos científicos. Aunque se reconoció el peligro de la contaminación del medio por materiales radioactivos, el examen de esta clase de contaminación ha quedado casi excluido en los informes de los grupos.

Introducción

Los efectos a largo plazo que en la salud del público tienen los diversos contaminantes del ambiente se acentúan cada vez más debido a los rápidos cambios ocurridos en relación con muchas de las actividades actuales del hombre.

En el pasado se ha prestado atención a la contaminación del aire, el suelo, los alimentos y el agua por productos químicos inorgánicos y desperdicios y es indudable que también se hará en el futuro. Un problema que se ha investigado menos es el que podría plantearse como consecuencia de la introducción en el medio de los productos químicos orgánicos que el hombre sintetiza con fines concretos.

Cada año se fabrican cientos de nuevos productos químicos orgánicos; algunos son sustancias persistentes, y muchos se emplean en todo el mundo. Entre estos productos químicos figuran nuevos plásticos y plastificantes; detergentes y solventes sintéticos; aditivos para alimentos, combustibles o aleaciones, e insecticidas. Asimismo, cada vez se emplean más productos químicos sintéticos en los hogares, artefactos y

/...

muebles, vestidos y materiales de construcción. Muchos intervienen directa o indirectamente en los alimentos, y multitud de ellos llegan o pueden llegar a las fuentes de agua superficiales y subterráneas, además de la atmósfera.

Conviene estudiar los diferentes tipos de contaminación del aire, el agua y la tierra en conjunto, y no por separado. Hay muchos casos en que el aire, el agua y el suelo resultan contaminados por la misma clase de desperdicios. Por ejemplo, la acumulación de escorias fundidas procedentes de los altos hornos en la fabricación de acero tiene como consecuencia una inmediata liberación de gases; la posible contaminación de los ríos por lixiviación debida a la lluvia y la modificación de la superficie del terreno, que impide el aprovechamiento ulterior del suelo. Existen otras circunstancias en las cuales la prevención de una forma de contaminación da lugar a otra. Los cianuros, por ejemplo, se pueden eliminar de los residuos líquidos de las instalaciones de galvanoplastia mediante acidificación y aireación, pero el resultado es la contaminación de la atmósfera por el ácido cianhídrico.

Las normas establecidas para proteger la salud del público se basan con frecuencia en la hipótesis de que sólo existe una forma de exposición para la sustancia correspondiente. Esta hipótesis suele ser falsa y cada vez resulta más evidente que debe evaluarse globalmente la exposición a la contaminación de todas las fuentes.

La contaminación del aire, el agua o la tierra también puede perjudicar la calidad de los alimentos. En realidad, la cadena alimentaria es el vehículo principal para trasladar la contaminación radioactiva y los residuos de insecticidas al hombre.

La contaminación parece ser una consecuencia ineludible de la moderna tecnología industrial, el transporte rápido y conveniente y la vivienda cómoda, pero el exceso puede influir en la salud del hombre y su bienestar mental, social y económico. Así, pues, el problema estriba en determinar el grado de contaminación que permite un desarrollo económico y social óptimo, sin peligro para la salud en su sentido más amplio. Esto se puede lograr aplicando de una manera sistemática los conocimientos existentes y complementándolos con los adquiridos mediante proyectos de investigación bien elegidos.

Conceptos básicos en la evaluación de los riesgos del ambiente

Al estudiar los efectos a largo plazo sobre la salud de los niveles bajos de contaminantes que existen en el medio en que se mueve el hombre, hay que examinar algunos principios biológicos fundamentales relativos al destino de estas sustancias dentro del cuerpo humano o alrededor de él y su efecto sobre las distintas funciones del organismo.

Los problemas son complicados y todavía se necesitan muchos más datos básicos, además de información concreta relacionada con las diversas sustancias.

Estos efectos podrían clasificarse en dos grupos:

- 1) efectos localizados en el lugar de contacto y de entrada, principalmente el aparato respiratorio y digestivo, pero hasta cierto punto en la piel y las membranas conjuntivas, y
- 2) efectos después de la absorción y distribución dentro del organismo.

Efectos localizados en el punto de contacto y de entrada.

En el lugar de contacto puede esperarse que habrá absorción en la zona vecina al órgano, cuyas células exteriores pueden sufrir la influencia en diversas formas. La bioquímica normal de las células puede acusar desviaciones que conduzcan a la liberación de sustancias que son transportadas por el torrente sanguíneo a otras partes del cuerpo, produciendo reacciones de tensión o interfiriendo en los procesos metabólicos de cualquier otro lugar del organismo. También pueden producirse cambios localizados de estructura. El contacto local puede provocar además, un estímulo nervioso localizado o efectos en el sistema nervioso central.

Los cambios localizados pueden proporcionar una protección mejor al órgano o, al modificar las condiciones de absorción o penetración de las sustancias extrañas, desequilibrar su mecanismo natural de defensa.

Ya se conocen algunos hechos acerca de estos efectos de contacto, pero existen muchas lagunas en el conocimiento básico de los posibles efectos de la exposición prolongada. Apenas se sabe nada sobre la producción de sustancias protectoras específicas.

Absorción y distribución

Las sustancias químicas absorbidas sólo afectan la bioquímica de las células si se produce alguna reacción química. La acumulación de sustancias insolubles puede limitar la cantidad de contaminante disponible para originar esas reacciones. En esta forma, la acumulación puede servir para excluir los contaminantes de los procesos bioquímicos vitales. Algunos elementos y radicales son químicamente idénticos a los constituyentes normales o tan parecidos que se los trata como tales, y así pueden perturbar los procesos bioquímicos normales, o los contaminantes pueden ser reducidos o transformados mediante el metabolismo en sustancias que luego se expulsan. En algunos casos se producen en el interior del cuerpo nuevas sustancias tóxicas.

Si el hombre no tuviera esos mecanismos bioquímicos para atacar las sustancias extrañas que se introducen en el organismo, habría sucumbido a las muchas sustancias existentes en la naturaleza que son extrañas para él, pero que se sabe penetran en su cuerpo; muchas resultan peligrosas cuando se las absorbe en grandes dosis. Esto coincide con la experiencia de que hasta ahora todas las sustancias tóxicas encontradas en animales experimentales tienen - aún con una exposición prolongada - una dosis mínima, debajo de la cual no se produce ningún efecto apreciable en la salud dentro de la duración de la vida normal. Las excepciones posibles son las sustancias que originan cánceres, mutaciones o monstruosidades.

La mayoría de las investigaciones toxicológicas han versado sobre los efectos peligrosos de las dosis superiores a estos límites. Sin embargo, para evaluar los efectos a largo plazo es importante saber mucho más sobre las reacciones bioquímicas a dosis inferiores a estos límites. Las enzimas normales, especialmente en el hígado, pueden eliminar la toxicidad de sustancias perjudiciales en potencia. Por ejemplo, durante la ingestión crónica de DDT en el hombre, se ha encontrado que el ritmo de transformación en DDE, que es mucho menos tóxico, se aceleraba. Así, pues, el problema de la inducción de enzimas adaptables reviste gran importancia. La identificación de las enzimas que pueden eliminar los átomos de cloro e hidrógeno del DDT y quizá de otros compuestos orgánicos del cloro, así como otros muchos procesos bioquímicos que anulan la toxicidad, es una esfera importante donde debieran realizarse más investigaciones.

Un mejor conocimiento básico de las condiciones generales de absorción, distribución, metabolización, acumulación y expulsión permitirá establecer criterios más racionales para dictar normas de sanidad pública. La naturaleza de la acción bioquímica recíproca entre los agentes tóxicos y el número limitado de enzimas normales y otros constituyentes de las células no se comprende todavía bien. Estos conocimientos podrían conducir a principios biológicos generales muy útiles para crear modelos destinados a investigar el destino y las acciones recíprocas entre los nuevos productos químicos cuando entran en el cuerpo humano.

Importancia de la variabilidad normal

Todos los procesos y estructuras biológicas acusan variaciones dentro de una "gama normal" de variabilidad. Así se refleja la adaptabilidad del hombre a las condiciones cambiantes de su medio, dentro de los límites definidos por sus características genéticas individuales.

Si los efectos de las exposiciones prolongadas no sobrepasan esta variación normal, no podrán preverse consecuencias perjudiciales. Se debe temer el peligro para la salud solamente si las fuerzas de adaptación y los mecanismos de defensa reciben una carga demasiado grande o un estímulo excesivo.

Muchos agentes químicos y físicos con los que se enfrenta el hombre provocan reacciones de adaptación. Tales reacciones bioquímicas y fisiológicas pueden limitar la capacidad del organismo para adaptarse a los efectos de otros factores o estimular su capacidad de adaptación. Estas alternativas son importantes para comprender los peligros que encierra para la salud una exposición prolongada. Debido a la importancia de estos mecanismos de adaptación, son muy necesarios ensayos con combinaciones de contaminantes y otras presiones exteriores.

Efectos sobre los sistemas reguladores

Además de los efectos de los contaminantes en el plano celular que conducen a desviaciones bioquímicas y trastornos estructurales, puede haber efectos sobre la regulación homeostática del cuerpo y estímulo o inhibición del sistema nervioso, el sistema hormonal regulatorio y la reacción de inmunidad del sistema retículo-endotelial.

Los conocimientos sobre estos mecanismos reguladores son escasísimos. No todos los efectos apreciables en estos procesos tienen necesariamente consecuencias perjudiciales o duraderas sobre la salud. Algunas reacciones se pueden comprobar ahora únicamente porque las nuevas técnicas proporcionan más conocimientos acerca de las condiciones básicas de la salud y los procesos de adaptación al medio.

Otras medidas destinadas a estimular la salud pueden reforzar la capacidad del hombre para adaptarse a condiciones de vida cambiantes. Después de todo, sus antepasados se adaptaron durante la totalidad del período de evolución a condiciones de vida cambiantes en este planeta. Las condiciones de nutrición, vivienda y ambiente mejores podrían ayudar al ser humano a soportar la carga de adaptarse a los agentes físicos y químicos a que está expuesto, pero si sucede así no debe emplearse este hecho como argumento para aplazar la introducción de requisitos más estrictos sobre pureza del aire y el agua.

Hay que enfocar la investigación de otras formas para aclarar los conceptos básicos de la biología ambiental, mediante los cuales se piensa obtener más datos de la reacción de los organismos vivos a los cambios de ambiente. Los especialistas en biología humana deben colaborar con los microbiólogos, los botánicos y los zoólogos a tal efecto. El destino final de los nuevos contaminantes químicos que contaminan el agua o el suelo que forman el ambiente de otros muchos organismos produce una perturbación ecológica en la naturaleza; la observación de estos efectos es importante para comprender la biología del medio en que se mueve el hombre.

Tendencias recientes en la contaminación del medio

Es indudable que la contaminación del ambiente del hombre está aumentando. No se pueden proporcionar cálculos directos de la cantidad de contaminantes químicos que existen hoy en nuestro medio. Sin embargo, las cifras de producción correspondientes a grupos importantes de productos químicos orgánicos sintéticos pueden servir como guía. (Véanse las figuras 1, 2 y 3.) Se dispone de datos para la Europa occidental y los Estados Unidos de América. Como puede verse en las figuras 2 y 3, la producción global de productos químicos en la Europa occidental se duplicó por amplio margen durante los ocho años transcurridos entre 1953 y 1960. Sin embargo, en ese lapso, la producción de los productos químicos que nos interesan aumentó todavía más; la producción de derivados del petróleo aumentó ocho veces, la de

/...

plásticos casi cuatro veces y la de productos farmacéuticos casi tres veces. Los aumentos correspondientes en los Estados Unidos son como sigue: cuatro veces para los plásticos, más tres veces para los detergentes sintéticos y un poco más de tres veces para los insecticidas. Una característica importante es el rápido aumento de la producción de insecticidas de los Estados Unidos, para los cuales no se pueden obtener cifras comparativas en los informes europeos de que se dispone. Sin embargo, los países de la Europa occidental dan una producción total de detergentes sintéticos para 1960 y 1961 que se aproxima a la tasa de aumento y la producción total correspondiente a estos años en los Estados Unidos.

No todos los aumentos que aparecen en las figuras 1, 2 y 3 afectarán al medio respectivo. Hubo un intercambio de productos químicos entre los dos continentes y también exportaciones a otras partes del mundo. Sin embargo, es evidente que entre los grandes cambios ocurridos durante el pasado decenio, la fabricación de productos químicos (y en especial productos químicos orgánicos sintéticos) reviste importancia. Por lo tanto, existen motivos fundados para estudiar el posible efecto de estos productos químicos en el ambiente del hombre y en el propio organismo humano.

La contaminación del aire por el humo está disminuyendo en los países desarrollados, como consecuencia de la mayor eficiencia de la combustión y de la sustitución del carbón por el petróleo o el gas natural, mientras que la concentración de algunos nuevos contaminantes (como los generados por los automóviles) está aumentando. En los países en desarrollo, donde la rápida industrialización y el urbanismo conducen a un mayor empleo de combustibles, equipo de combustión y productos químicos industriales, cabe esperar un rápido aumento de los problemas que plantea la contaminación.

A causa de la gran difusión del uso de vehículos automotores, los problemas originados por la contaminación debida a los gases de escape han aumentado en muchas ciudades importantes. El inesperado y complicado problema de la contaminación fotoquímica, que se observó por primera vez en Los Angeles, ha sido comprobado en otras ciudades donde existe una concentración de vehículos automotores, falta de circulación de aire y una intensidad de radiación de onda corta suficientes para estimular las reacciones fotoquímicas.

Los contaminantes que emiten principalmente los vehículos automotores (vapores de hidrocarburos y óxido nítrico) no son peligrosos en las concentraciones que se suelen encontrar en el aire de las ciudades, a menos que intervengan en reacciones fotoquímicas. El óxido nítrico poco concentrado es oxidado lentamente en el aire

/...

ambiente y se transforman en bióxido de nitrógeno, pero la reacción se produce con más rapidez en presencia de vapores de hidrocarburos. Los peligros que para la salud crea el bióxido de nitrógeno son mayores que los debidos a concentraciones equivalentes de óxido nítrico, pero se necesitan más investigaciones para determinar la concentración a partir de la cual el bióxido de nitrógeno afecta los pulmones.

También preocupan otros dos contaminantes, el monóxido de carbono y el plomo, que emiten los vehículos automotores, aunque no intervienen en las reacciones fotoquímicas que ocasionan contaminación. El monóxido de carbono se combina (con una media vida biológica de unas tres horas) con la hemoglobina del cuerpo e impide el transporte del oxígeno. En muchas ciudades, la contaminación producida por los gases de escape es suficiente para dejar inactivo del 1% al 6% de la hemoglobina en todas las personas de la población expuesta. La descomposición del plomo tetraetílico que se emplea como aditivo en la gasolina para motores produce plomo inorgánico. El aire de Los Angeles contiene hasta el doble de la cantidad de plomo que se encuentra en otras grandes ciudades.

En algunos países en desarrollo se han aprobado leyes para regular la descarga de residuos industriales en los sistemas de alcantarillado y corrientes de agua, pero muchos países de esta categoría donde se está ocurriendo un rápido desarrollo técnico carecen de personal capacitado, material y otras instalaciones para determinar y controlar la contaminación del medio.

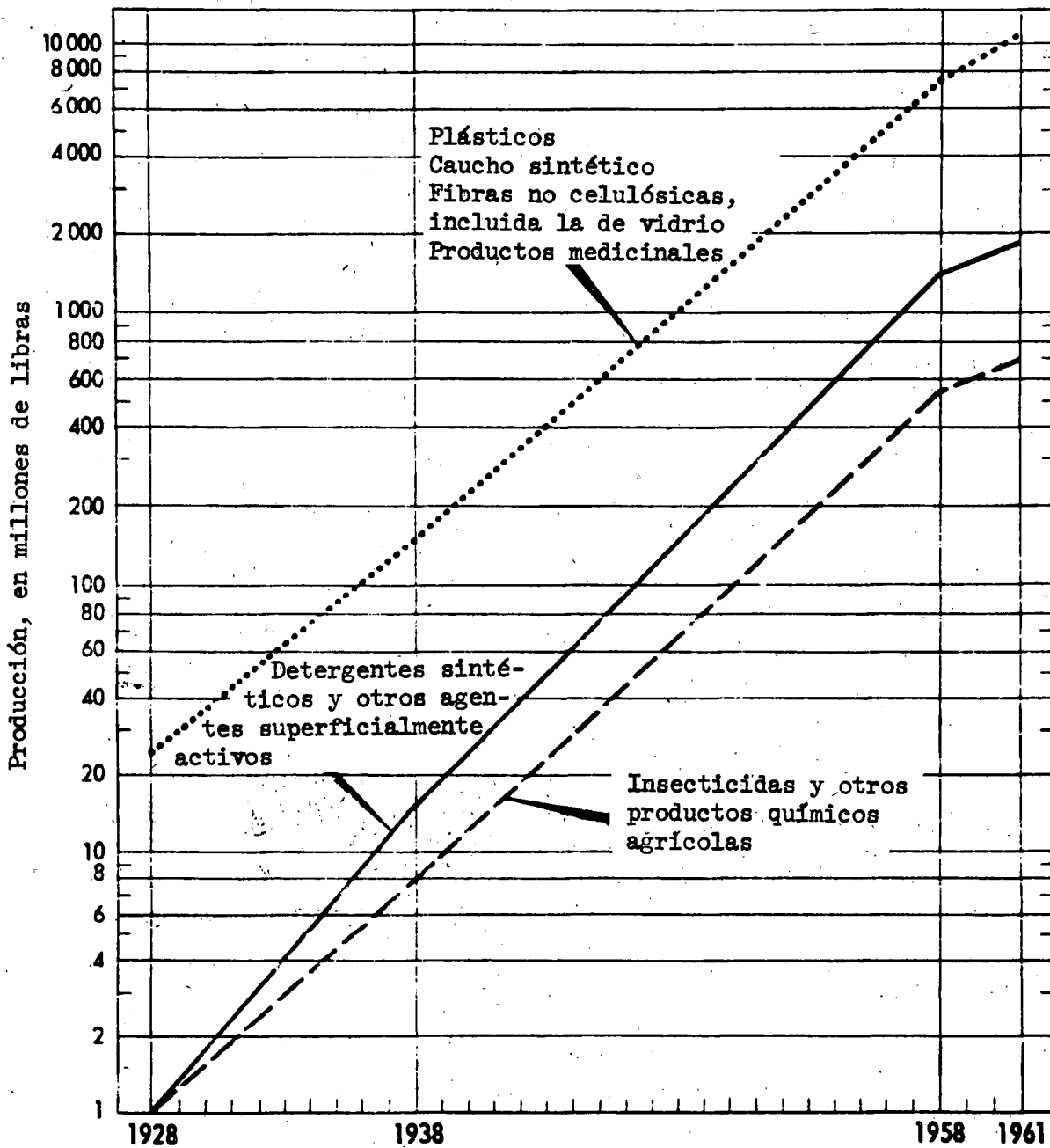
Agentes de traspaso de la contaminación al hombre

Aunque resulta artificial establecer una distinción entre sustancias contaminantes que alcanzan al hombre por conducto del aire, el agua o los alimentos - debido a que, por ejemplo, el mismo producto químico utilizado para pulverizar una cosecha puede ser inhalado, puede depositarse directamente sobre la piel o las conjuntivas, puede ser arrojado en una corriente de agua y ser bebido después o puede ser ingerido en los productos agrícolas o en el pescado que había en esa corriente de agua - conviene hacerla con fines descriptivos. Sin embargo, la mayoría de los contaminantes del medio suelen llegar al hombre por conducto de uno de estos agentes más que por los demás, y en los párrafos siguientes se estudiarán por separado.

/...

FIGURA 1

AUMENTO DE LA PRODUCCION DE PRODUCTOS QUIMICOS ORGANICOS SINTETICOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA



(Datos obtenidos de la Tariff Commission de los Estados Unidos)

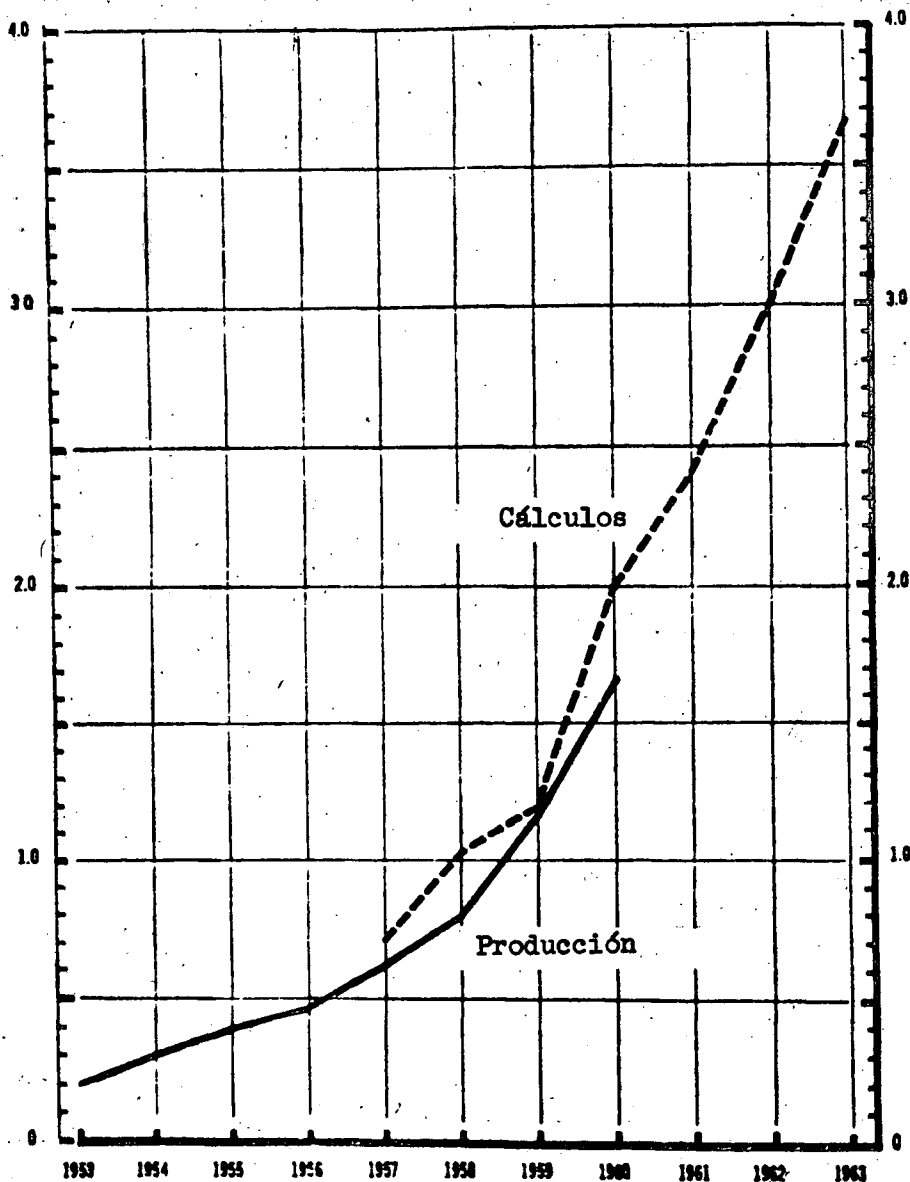
FIGURA 2

DESARROLLO DE LA PRODUCCION DE DERIVADOS DEL PETROLEO DESDE 1953 HASTA 1960 Y CALCULOS DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION HASTA 1963 EN LOS PAISES DE LA EUROPA OCCIDENTAL

- Producción de derivados del petróleo en los países miembros, según su contenido de carbono
- - - - Cálculos de la capacidad de producción de los países miembros dentro de dos años

Millones de toneladas métricas

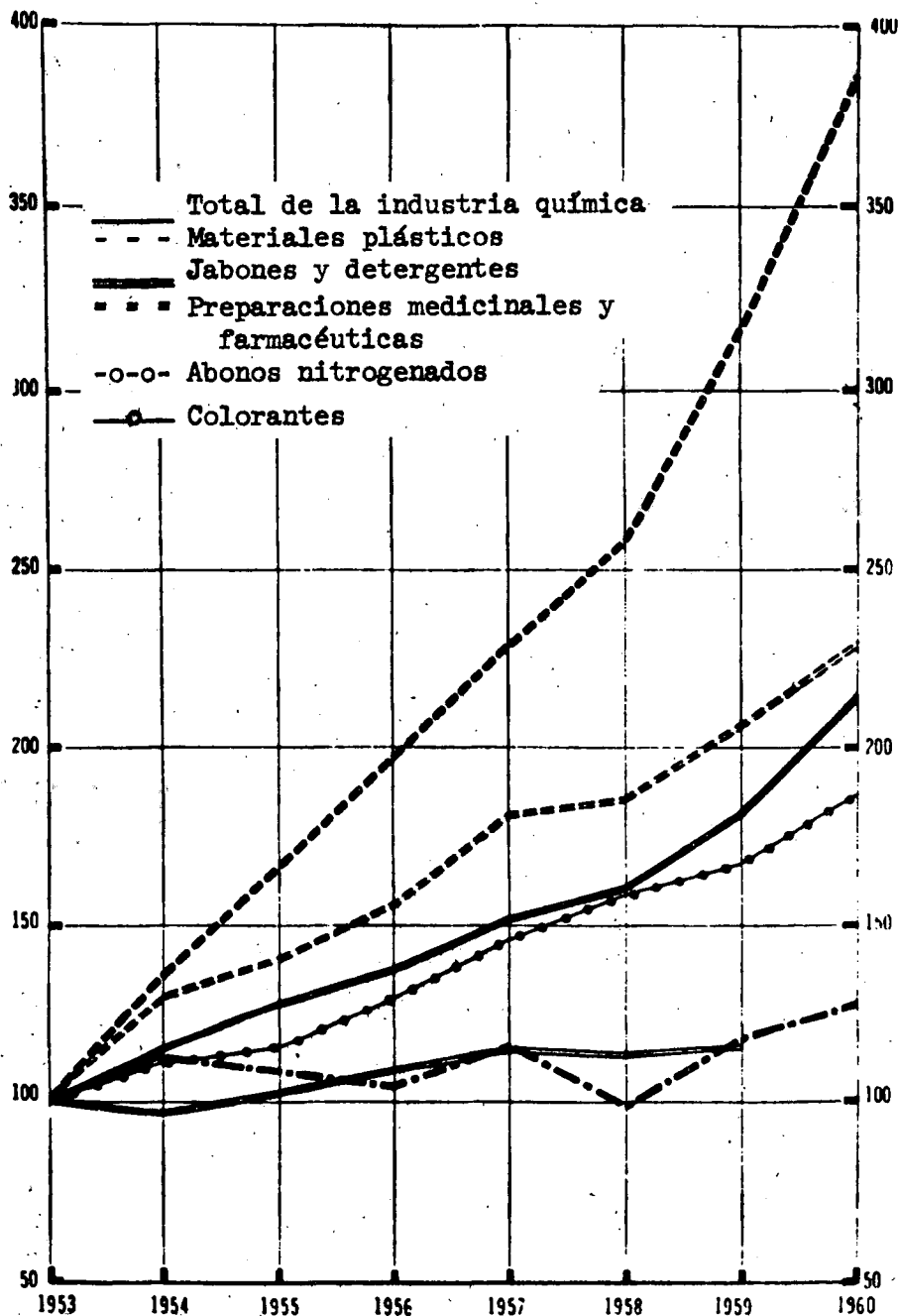
Millones de toneladas métricas



(Tomado de: The Chemical Industry in Europe 1960-1961, OCDE)

FIGURA 3

DESARROLLO DE LA INDUSTRIA QUIMICA Y DE DETERMINADAS
RAMAS EN LA EUROPA OCCIDENTAL
1953 = 100



(Tomado de: The Chemical Industry in Europe 1960-1961, OCDE)

I. Contaminación del aire

Fines de las investigaciones de la contaminación del aire

a) Fines principales de las mediciones de la contaminación del aire. La contaminación de la atmósfera por los productos de desecho de las actividades humanas, especialmente en los núcleos urbanos, está aumentando con rapidez en el mundo entero. Aunque cada problema de contaminación del aire debe encuadrarse a base de sus propias características aisladas, las fuentes de contaminación se pueden clasificar en general en varias categorías amplias: la quema de carbón y petróleo para calefacción doméstica e industrial y generación de vapor, las emisiones de los vehículos automotores, los residuos industriales y las actividades comerciales y comunales diversas (tales como incineración de residuos sólidos, pérdidas de solventes, insecticidas y productos químicos agrícolas).

b) Evaluación preliminar de un problema. Antes de emplear métodos complicados para medir la concentración de contaminantes, se debe determinar la naturaleza y magnitud del problema. Muchos contaminantes son invisibles e inodoros, y algunos pueden resultar peligrosísimos. Sin embargo, para decidir con carácter preliminar si existe el problema, puede ser muy útil la investigación cuidadosa de las fuentes locales (incluido el empleo de combustible), los efectos sospechados, la inspección de los edificios y cosechas en la zona, la observación de penachos de humo y el uso del olfato. Sin embargo, estos procedimientos no dan la seguridad de que no existe un problema de contaminación, no sólo porque algunos contaminantes no tienen efectos apreciables con la vista o el olfato, sino también porque las concentraciones y reacciones pueden sufrir la influencia de condiciones meteorológicas inusitadas y que no existen durante la evaluación preliminar. En esta etapa inicial de la investigación, la concentración de un contaminante grosero y fácil de medir puede considerarse con frecuencia como indicador de las cantidades de algún otro contaminante cuya estimación es más difícil o costosa; por ejemplo, si el contaminante principal es el humo de carbón, la evaluación de este elemento puede dar una indicación aproximada de la concentración de hidrocarburos policíclicos.

c) Identificación de las fuentes de contaminantes. Quizá haya que realizar estudios que incluyan mediciones de la concentración de los distintos contaminantes para identificar con certeza las fuentes responsables. Estos problemas pueden ser

/...

difíciles; un ejemplo lo constituye la distinción entre las aportaciones de la combustión del carbón y los vehículos automotores. En este caso, ambas fuentes pueden emitir hidrocarburos policíclicos y monóxido de carbono, y se debe tener cuidado de seleccionar para la medición indicadores de los contaminantes emitidos por una y otra fuente separadas, por ejemplo, cálculos de las tasas de concentración de los diversos hidrocarburos mediante las cuales se pueda identificar la fuente.

d) Evaluación de los efectos en la salud. Las autoridades de sanidad de muchas partes del mundo emplean mediciones de la contaminación del aire para determinar la magnitud de sus problemas en comparación con los de otras zonas. A tal fin se puede establecer una red de estaciones de muestreo y hacer observaciones a intervalos fijos durante largos períodos. En algunos estudios se emplea el muestreo intermitente en diversos lugares siguiendo un diseño estadístico previamente determinado, pero cualquiera que sea el método adoptado debe permitir obtener una estimación razonable de la distribución de la exposición a la contaminación que afecta a la población dentro de los sectores investigados y señalar las variaciones según la estación y las condiciones atmosféricas.

Los valores máximos pueden ser más pertinentes que el promedio de concentración, especialmente en los estudios sobre los efectos intensos de la contaminación; para ello se deben hacer observaciones durante períodos no mayores de 24 horas, y quizá resulten útiles los registros continuos o por horas. En los estudios sobre el desarrollo de enfermedades crónicas y los efectos a largo plazo hay que emplear además el promedio de concentración a largo plazo. Algunas veces se ha usado un procedimiento de muestreo relativamente sencillo, mediante el cual se reúne continuamente material durante un mes o más.

La exposición de los individuos o grupos de población a determinados contaminantes se suele calcular a base de los resultados obtenidos mediante dispositivos fijos de muestreo ubicados en las zonas donde la gente vive o trabaja. Este procedimiento suele ser satisfactorio en los ambientes urbanos, donde las concentraciones de contaminantes no varían con rapidez según el tiempo y el lugar, pero en algunos casos quizá se necesiten "dispositivos personales" para medir con precisión la exposición a que están sometidos diversos individuos, especialmente en sus hogares.

Hay que reconocer que la salud puede resultar afectada indirectamente mediante una disminución del bienestar. Por ejemplo, partículas suficientemente grandes para

/...

depositarse con rapidez y demasiado grandes para inhalarlos y causar enfermedades pulmonares, pueden ensuciar las fábricas, edificios y pinturas y afectar así indirectamente la salud causando molestias; los olores desagradables y la irritación de los ojos pueden no originar cambios patológicos evidentes, pero afectan mucho el bienestar de los individuos.

e) Evaluación de la relación entre las condiciones atmosféricas y la contaminación. Quizá haya que hacer mediciones frecuentes y amplias de la contaminación para comprobar los efectos de las condiciones atmosféricas sobre la dispersión de contaminantes o la acción química recíproca entre los distintos contaminantes. Los ejemplos más notables de esta clase de problema tal vez sean la contaminación fotoquímica de Los Angeles y la niebla contaminada con humo de la Gran Bretaña. En ambos casos pueden producirse reacciones entre los contaminantes, que dependen en gran parte de factores meteorológicos y solamente con una cuidadosa medición se pueden establecer los mecanismos mediante los cuales se forman los contaminantes secundarios.

f) Evaluación de los efectos de las medidas de control. En muchas partes del mundo se considera la contaminación del aire como una molestia intolerable, y se han adoptado medidas para disminuirla. Es evidente que el efecto de la aplicación de normas para obtener "aire limpio" sólo se puede comprobar estudiando los resultados de las mediciones hechas de una manera sistemática durante un largo período y en muchos lugares. Con frecuencia se hace un uso excesivo de series de mediciones cortas para evaluar tal efecto; como la contaminación depende a menudo de las variaciones meteorológicas hay que tener cuidado de asegurar que no se llegue a conclusiones falsas debido a una interpretación negligente de las series de mediciones cortas.

g) Empleo de mediciones de la contaminación para la planificación y el desarrollo económico. Si se quiere evitar la contaminación del aire, en lugar de disminuirla, hay que preparar planes para que las centrales eléctricas, las instalaciones fabriles y las fuentes domésticas de contaminación no "sobrecarguen" la atmósfera. En muchas partes del mundo se hacen cuidadosos estudios de la concentración de contaminación antes de autorizar el uso de determinados lugares para fines industriales o como aglomeraciones de gran densidad de población. Esta práctica es muy loable, y la aparición de muchos problemas de contaminación se evita reconociendo la importancia de este fenómeno en las actividades urbanísticas.

h) Establecimiento de criterios o normas sobre la calidad del aire. La población quizá quiera que los organismos de sanidad establezcan lo que consideran como concentración de contaminantes tolerable o intolerable y preparen normas para que no se exceda de esos límites. La OMS está tratando de establecer dichos criterios y normas, siguiendo las directrices recomendadas por su Comité de Expertos sobre contaminantes de la atmósfera^{1/}. Es evidente la necesidad de mediciones amplias y frecuentes de los distintos contaminantes y combinaciones de contaminantes con este fin.

i) Medición de la contaminación para realizar investigaciones. La contaminación es raras veces un proceso sencillo; los componentes reaccionan a menudo en el aire después de emitidos. La estructura y el tamaño de las partículas y gotitas pueden ser complejos y variar según la temperatura y la humedad. La investigación de estas cuestiones está en sus comienzos y habrá que medir muchas veces muchos contaminantes para investigar la naturaleza cambiante de la contaminación.

Principios y métodos de muestreo

En la contaminación del aire, "muestreo" significa la reunión de un determinado volumen de aire o una cierta cantidad de uno o más contaminantes, con objeto de establecer la concentración de tales contaminantes en la atmósfera.

El muestreo suele preceder al análisis y puede haber un intervalo de cierta duración entre las dos operaciones. Sin embargo, cuando se quiere empezar un estudio de la contaminación del aire y se ha decidido que hay que prestar atención a determinados contaminantes, se tiene que preparar una lista de los métodos analíticos aplicables, junto con el método o métodos de muestreo correspondientes. Adaptando los métodos analíticos y de muestreo a las necesidades del estudio se logra la base para la elección definitiva.

a) Principios para elegir el método de muestreo. La elección de la técnica depende de muchos factores: en primer lugar, del fin de las mediciones; en segundo, del tipo de efecto que interesa; en tercero, del período adecuado para lograr un promedio, y por último, del método para comunicar los resultados.

^{1/} Organización Mundial de la Salud, Informes técnicos, 1963, 271.

Otro factor de la elección del método de muestreo lo constituyen las limitaciones que imponen la sensibilidad y especificidad de las técnicas de análisis.

Los factores importantes son la sencillez del método de muestreo y la disponibilidad de un instrumento que sea fuerte, barato, portátil y compacto y que con preferencia no requiera ninguna fuente de energía en el punto de muestreo, pero que produzca la mayor cantidad posible de datos.

Por último, no hay que olvidar que el método de muestreo debe ser eficaz, es decir, debe impedir la pérdida de contaminantes en el momento de recogerlos, así como toda transformación posterior por reacción mutua de contaminantes antagónicos o por desaparición de un contaminante como consecuencia de la adsorción, volatilización, aglomeración o fragmentación de las partículas. También debe proporcionar una muestra representativa del aire inhalado en el punto de muestreo.

b) Métodos de muestreo. En cuanto a la duración del período de muestreo, hoy se aplican dos técnicas: a) muestreo instantáneo o de corta duración y b) muestreo continuo para medir concentraciones medias y máximas en intervalos concretos. Las muestras instantáneas suelen recogerse para determinados fines durante períodos de menos de 30 minutos a varias horas. Estas muestras tienen valor limitado, excepto cuando sólo se producen variaciones poco importantes de la concentración en ciertos períodos del día, como consecuencia, por ejemplo, de la densidad del tráfico, o cuando se hace un muestreo instantáneo a fin de comprobar al azar la contaminación en muchos puntos. En general, el grado de contaminación fluctúa mucho según las condiciones meteorológicas reinantes, y está influido por factores tales como la topografía, los índices de emisión de masa, la temperatura, la velocidad y densidad de los gases de chimenea, la altura de las chimeneas, la distribución de las fuentes de emisión y la distancia desde éstas en la dirección del viento. Por lo tanto, es evidente que el muestreo instantáneo no puede aplicarse para comprobar plenamente la naturaleza y magnitud de un problema de contaminación del aire. La determinación de las concentraciones máximas de un contaminante a intervalos breves está limitada por la constante tiempo del instrumento de registro continuo o de muestreo.

Los estudios sistemáticos de la naturaleza e intensidad de la contaminación del aire destinados a obtener datos para realizar estudios epidemiológicos; evaluar

los posibles riesgos para el hombre, los animales o la vegetación, y aplicar los programas de control, suelen requerir técnicas de muestreo continuo. Según la duración del ciclo de muestreo, se pueden leer o calcular concentraciones medias y máximas a intervalos concretos. Dentro de un ciclo determinado, también se pueden establecer las concentraciones máximas en períodos relativamente cortos. Sin embargo, las técnicas instrumentales pueden no tener especificidad y, por lo tanto, los datos deberán verificarse a menudo por valoración u otros métodos más específicos de análisis. Donde no puedan emplearse instrumentos automáticos de registro continuo, todavía podrán recogerse muestras continuas mediante absorción o filtración química adecuadas en secuencia de cantidades medidas de aire, y analizando después las muestras.

A efectos de la comparación internacional de las mediciones corrientes, se recomienda que se unifique el período de recogida de modo que la muestra corta se defina como la recogida durante un período de 30 minutos y la muestra larga como la recogida durante un período de 24 horas.

Las propiedades físicas y químicas de los contaminantes influyen con frecuencia en la técnica que debe adoptarse. Así, en el caso de los contaminantes gaseosos, las muestras pueden recogerse en recipientes de vidrio o metal previamente vaciados, o en bolsas de plástico infladas con una bomba manual o con una bomba electromecánica de diafragma; por aspiración de aire a través de un colector frío, que retiene los contaminantes gaseosos de alto punto de ebullición; por disolución en una solución adecuada; por transformación, agregando un reactivo líquido adecuado, de ser posible selectivo, a una mezcla que sea más fácil de dosificar o detectar colorimétricamente; por absorción mediante un absorbente sólido apropiado, posiblemente a baja temperatura, librándose el contaminante mediante tratamiento posterior; o por reacción con un reactivo sólido esparcido sobre una superficie inerte de un tubo detector o sobre un papel de filtro. En este último caso, el reactivo escogido debe ser tal que el contaminante que se quiere estudiar produzca un cambio de color que pueda utilizarse directamente para la medición.

Para contaminantes líquidos o sólidos pueden utilizarse los métodos siguientes: aspiración a través de un filtro de porosidad conocida, que retiene las materias ordinarias o radiactivas en suspensión; captación por choque de las partículas

lanzadas a gran velocidad contra un tabique sólido, con o sin ayuda de una sustancia líquida; centrifugación por ciclón, que permite retener las materias en suspensión de diámetro relativamente grande, seguida posiblemente de filtración para extraer las partículas pequeñas que el ciclón no haya retenido, y precipitación térmica o electrostática.

Los distintos procedimientos ofrecen ventajas e inconvenientes, que también deben influir en la elección del método de muestreo.

Los métodos de muestreo para análisis directo requieren equipo que suele ser costoso y tiene que instalarse en un lugar único de muestreo. Por lo tanto, el número de lugares no puede multiplicarse sin aumentar el equipo y en consecuencia los gastos respectivos. En cambio el análisis directo permite determinar la tendencia diaria de la contaminación en un lugar concreto. Este método es especialmente útil cuando da, directamente o por integración, medias sucesivas en un determinado intervalo de tiempo.

Los métodos de muestreo para análisis retardado ofrecen la ventaja de que es posible controlar gran número de lugares de muestreo con una sola instalación analítica costosa. En cambio, el muestreo es casi instantáneo en cada lugar, lo que excluye la posibilidad de establecer medias en relación con el tiempo, en el sentido en que los hemos definido antes. Asimismo, el control de gran número de lugares de muestreo plantea el problema de la división de la zona correspondiente en unidades y el problema de la forma y la hora más adecuadas para visitar cada uno de los lugares escogidos en esas unidades.

Medición de la contaminación del aire

Nomenclatura de la contaminación del aire. Un Comité de Expertos de la OMS en contaminantes de la atmósfera^{1/} señaló la necesidad de llegar a un acuerdo sobre el uso de términos precisos y bien definidos para describir los fenómenos relacionados con la contaminación del aire en diversas partes del mundo. En la actualidad, el uso en las publicaciones técnicas de términos tan vagos como "smog", "smaze", etc., para

^{1/} Organización Mundial de la Salud, Serie de Informes Técnicos, No. 271, 1963.

describir la naturaleza, origen y constitución de la contaminación del aire y la influencia de los factores atmosféricos o meteorológicos asociados, origina una gran confusión.

Unidades. El intercambio de los resultados de las investigaciones sobre la pureza del aire sería más fácil si se adoptara internacionalmente una nomenclatura común y unidades y métodos uniformes. En el Simposio Interregional de la OMS sobre criterios para determinar la pureza del aire y métodos de medición, celebrado en 1963, se hizo un breve estudio del problema. En la Guía para la selección de métodos de medición de contaminantes del aire (véase la Bibliografía) se recomiendan varias unidades para presentar los resultados del muestreo y analizar los gases y las partículas y los factores ambientales conexos.

Para expresar los resultados de las mediciones de la contaminación del aire debería emplearse el sistema de unidades constituido por el kilogramo, el metro, el segundo y el amperio. La concentración de contaminantes medida según este sistema debe expresarse con referencia a la masa y al volumen, a una temperatura y presión uniformes o de referencia. En general, se admite que deben emplearse la presión uniforme de 1.013,25 milibares (equivalente a 760 mm. de Hg.) y la temperatura de 0°C. Aunque en muchos casos la conversión a valores atmosféricos uniformes o de referencia puede no justificarse para fines locales debido a la precisión limitada de las mediciones y a los errores inherentes a ellas, es esencial que se indiquen las condiciones de temperatura y presión de todas las mediciones que se efectúen para estudios comparados o meticulosos. Normalmente, la concentración de contaminantes en la atmósfera medida por este sistema debe expresarse en miligramos por metro cúbico (mg/m^3).

Algunas sustancias se presentan en el aire en concentraciones tan pequeñas que la unidad recomendada para medir la concentración de masa (mg/m^3) es 1.000 o más veces mayor que la masa que existe efectivamente en un metro cúbico de aire. En esta categoría entran los hidrocarburos aromáticos policíclicos y estructuras análogas, capaces en potencia de producir cáncer, así como algunos compuestos sumamente tóxicos. En estos casos, la concentración podrá expresarse en microgramos (μg), nanogramos (ng) o picogramos (pg) por metro cúbico.

/...

CUADRO I

UNIDADES RECOMENDADAS PARA MUESTREOS Y ANÁLISIS DE LA ATMOSFERA

Concepto	Unidades recomendadas	Unidades alternativas o derivadas	Símbolo
Partículas en suspensión	Miligramos por metro cúbico	Microgramos por metro cúbico	mg/m ³ µg/m ³
Gases o vapores	Miligramos por metro cúbico ^{a/}	Microgramos por metro cúbico Partes por millón y por volumen	mg/m ³ µ/m ³ ppm
Masas gaseosas	Metro cúbico en condiciones uniformes ^{b/}		m ³
Indíces de emisión de masa	Metros cúbicos por segundo		m ³ /seg
Velocidad	Metros por segundo		m/seg
Indíces de muestreo atmosférico	Metros o centímetros cúbicos por segundo	Litros por minuto	m ³ /seg cm ³ /seg l/min
Temperatura	Grados centígrados		°C
Hora del día	00.00 a 24.00 horas		h.
Presión	Milibares	mm de Hg ^{c/}	mb mm Hg
Visibilidad	Kilómetros	Metros	km m
Luz: transmitancia reflectancia	Porcentaje de transmitancia Porcentaje de reflectancia		% T % R
Tamaño de las partículas	Micrón (10 ⁻⁶ m)	Micrómetro	µ µm
Longitud de onda de la luz	Milimicrones (10 ⁻⁹ m) = nanómetro	Angstrom (10 ⁻¹⁰ m)	mµ Å nm

a/ Para las sustancias de peso molecular conocido, las partes por millón y volumen podrán convertirse en microgramos por m³ multiplicándolas por el peso molecular y dividiendo el resultado por 22,4.

b/ Las condiciones uniformes son 0°C de temperatura y 1.013,25 milibares de presión (760 mm Hg).

c/ mm de Hg x 1,3332 = milibares a la temperatura uniforme de 0°C.

/...

La estimación de los resultados del muestreo y el análisis de la atmósfera será mucho más sencillo y los datos obtenidos podrán compararse con mayor facilidad si esos resultados se expresan en las unidades recomendadas en el cuadro I. Se observará que para muchos de los conceptos enumerados en este cuadro se dan otras unidades alternativas o derivadas, junto con las recomendadas. Podrán elegirse las unidades que más convengan para presentar los datos, principalmente con objeto de evitar el uso de decimales engorrosos.

Métodos de análisis

En la Guía para la selección de métodos de medición de contaminantes del aire (véase la Bibliografía) se estudian con gran detalle muchos de los métodos de análisis que se emplean hoy. Sin embargo, habrá que realizar más investigaciones sobre dichos métodos.

a. Antecedentes. Los métodos analíticos para medir la contaminación del aire van desde las técnicas químicas más sencillas hasta procedimientos muy complejos que requieren complicados instrumentos. El tipo y el número de análisis que pueden requerirse dependerán de los fines del estudio. Un análisis uniforme y sencillo podrá repetirse miles de veces y exigir muchas horas-hombre. En cambio, el análisis de una sola muestra podrá exigir los esfuerzos de un equipo de investigadores durante varios días o semanas.

b. Métodos sencillos. Una de las metas de las investigaciones para preparar métodos de análisis es crear técnicas más sencillas, que no sólo reduzcan la duración de tales análisis, sino que además pueden emplearse en muchos lugares, tanto sobre el terreno como en el laboratorio, por personas cuyas calificaciones vayan desde voluntarios que desean colaborar hasta químicos capacitados. Los métodos sencillos son esencialmente adecuados para medir con regularidad contaminantes comunes en operaciones en redes o en el curso de estudios sobre el terreno de larga duración.

c. Métodos sensibles. Muchos métodos que ya se usan o que podrían usarse para medir la contaminación del aire son poco sensibles, en particular bastantes de los que se aplican en la higiene industrial. Para eliminar esta dificultad, quizá se necesite con frecuencia equipo de muestreo más complejo, o usar más tiempo y equipo para análisis en el laboratorio. Aunque la sensibilidad (capacidad de detectar pequeñas cantidades) es importantísima para los estudios sobre contaminación del aire, la gran precisión (capacidad para distinguir entre dos mediciones de casi la misma magnitud) no siempre es importante. Suele bastar una precisión de $\pm 20\%$.

En la actualidad faltan métodos que sean sencillos y sensibles, sobre todo para emplearlos en estudios sobre el terreno. La necesidad de sensibilidad es vital en los estudios más complejos, por ejemplo, la determinación de iones o sustancias compuestas mediante su clasificación por tamaños, sobre todo de tamaño inferior a la micra.

- d. Métodos específicos. Los contaminantes de la atmósfera que interesan suelen presentarse en el aire en pequeñas cantidades, a menudo combinados con otras sustancias. Estas otras sustancias plantean problemas si obstaculizan las técnicas analíticas empleadas para medir un contaminante que ofrece especial interés. Muchos de los métodos actuales de análisis no han sido investigados con detalle suficiente para poder discernir la naturaleza y magnitud de las interferencias en distintas atmósferas contaminadas o encontrar la forma de eliminarlas o corregirlas.
- e. Contaminantes orgánicos. Ahora contaminan el aire sustancias nuevas procedentes de las industrias química y metalúrgica. La preparación de métodos sensibles y específicos para identificar y medir los nuevos contaminantes orgánicos facilitaría los estudios sobre los efectos de los mismos. Esto quizá exija esfuerzos y gastos considerables.
- f. Relaciones gas-aerosol. La utilidad de las partículas para la posible evaluación de los efectos de los gases sobre el sistema respiratorio es una cuestión que requiere muchas investigaciones y aclaraciones. Las técnicas existentes suelen ser inadecuadas para comprender las relaciones de absorción/adsorción entre los gases ordinarios y las partículas que contaminan la atmósfera y su posterior elución en el sistema respiratorio. La solución de este problema quizá obligue a emplear técnicas físicas y métodos analíticos químicos avanzados.
- g. Química del ciclo del azufre. La química del ciclo del azufre en la atmósfera es de sumo interés, porque los sulfatos pueden ampliar los efectos del bióxido de azufre. Los métodos para determinar el destino de los compuestos sulfurosos en la atmósfera son muy necesarios en la conversión de óxido de azufre/trióxido de azufre/sulfato. Otros compuestos sulfurosos interesantes son los sulfuros orgánicos e inorgánicos, los mercaptanes, los sulfitos, etc.
- h. Fotoquímica. Las emisiones de los automóviles y de la combustión de otros combustibles fósiles constituyen dos fuentes importantes de contaminación de la atmósfera. Para ampliar los conocimientos sobre los efectos de estos contaminantes,

/...

hacen falta estudios que permitan definir con más detalle las reacciones fotoquímicas atmosféricas en que intervienen compuestos orgánicos. La preparación de métodos de análisis es parte de esos estudios.

i. Trazadores para investigaciones meteorológicas. Un factor que restringe el uso de trazadores en los estudios sobre la circulación en la atmósfera, especialmente a grandes distancias y durante largos períodos, es la falta de sustancias trazadoras inocuas que permanezcan estables dentro de los límites normales de variación de la temperatura del aire ambiente, la humedad, la radiación solar y la precipitación. Las sustancias más prometedoras en estas investigaciones son los compuestos polares, capaces de ser detectados en rastros insignificantes mediante el uso de técnicas de análisis tales como la cromatografía de gas-líquido con detección por captura de electrones.

j. Evolución reciente de la química analítica. En los últimos diez años los progresos de la química analítica han proporcionado oportunidades excepcionales para lograr una mayor sensibilidad y especificidad en las mediciones de la contaminación del aire. Los métodos gravimétricos y valorimétricos han sido suplementados cada vez más con la espectrofotometría, la espectrometría de rayos infrarrojos, la voltametría, la cromatografía de gas-líquido, etc. Aunque ya se utilizan mucho esos métodos más modernos, todas las obras de consulta sobre contaminación del aire se limitan a incluir una breve alusión a los métodos espectrofotométricos y apenas hacen referencia a los demás, si es que la hacen. Es importante que los estudios sobre contaminación del aire se efectúen con los mejores métodos de análisis disponibles y que se preste especial atención a la pureza de los reactivos empleados. La sencillez, sensibilidad, seguridad y economía de muchos de los métodos más modernos permitirán lograr notables progresos en el estudio de la contaminación del aire. Se debe reconocer que los resultados obtenidos y las economías que se hagan en el factor trabajo quizá justifiquen el uso de equipo nuevo aunque sea caro.

Ahora es posible identificar y determinar con más eficacia los contaminantes orgánicos mediante el uso de la cromatografía de gas-líquido y de otros tipos de cromatografía. Hace unos cuantos años sólo podía definirse un número limitado de compuestos orgánicos. Los índices de hidrocarburos podían medirse sobre una base no discriminatoria. Con la introducción de la cromatografía de gas-líquido es posible separar los componentes de mezclas complejas de sustancias orgánicas gaseosas

e identificar y determinar cada uno de ellos. Con la cromatografía de temperatura programada y con otros tipos de cromatografía se pueden analizar partículas orgánicas de gran peso molecular.

La espectrofotometría de rayos infrarrojos ha resultado útil por sí misma, o después de la separación cromatográfica, para estudiar ciertos problemas de la contaminación del aire. Los métodos de rayos infrarrojos podrán aplicarse no sólo para identificar y medir componentes orgánicos a efectos de investigación, sino también para observar sistemas (por ejemplo, el monóxido de carbono)!

En circunstancias especiales, la cromatografía de película fina, la espectrometría de masas, la fluorimetría, la fosforimetría y la polarografía podrán aplicarse en los estudios de la contaminación del aire. Estas técnicas sólo se han usado hasta ahora ocasionalmente para hacer mediciones con regularidad, pero son importantes como instrumentos para investigar problemas especiales. Por ejemplo, las mezclas complejas de hidrocarburos quizá resulten difíciles de analizar mediante el uso de la cromatografía de gas-líquido únicamente. Por lo tanto, la cromatografía de película fina puede usarse como una fase inicial, en la que se obtienen separaciones preliminares y los componentes separados se pueden inyectar después en un cromatógrafo de gas para su separación, identificación y medición finales. Asimismo, la espectrometría de masas puede aplicarse para identificar sustancias que han sido separadas cromatográficamente. La fluorimetría se utiliza a menudo, sobre todo en combinación con observaciones especiales hechas a temperaturas muy bajas. La fosforimetría también constituye un medio eficaz para hacer identificaciones y determinaciones cuando sólo se dispone de cantidades diminutas de material.

La existencia de técnicas nuevas, incluidos los reactivos e instrumentos nuevos, ha facilitado el estudio de los contaminantes inorgánicos. Uno de los métodos de análisis más antiguos, la fotometría a la llama, se usa con más frecuencia que antes debido a los nuevos procedimientos de excitación. Al principio los fotómetros a la llama sólo se emplearon para determinar metales alcalinos o tierras metálicas alcalinas. El perfeccionamiento de los métodos de excitación ha permitido aplicar la fotometría a la llama para establecer la presencia de otros materiales, tales como magnesio, zinc y estaño. Esta técnica es muy sensible y segura, sobre todo cuando las interferencias no son intensas.

De especial importancia es la introducción en los últimos tiempos de la espectroscopia por absorción atómica. Esta técnica es en general tan sensible o más que la fotometría a la llama o la espectroscopia por emisión. Más importante que la sensibilidad es que la espectroscopia por absorción atómica es específica por sí misma. La técnica es sencilla y el equipo relativamente barato, por lo menos si se compara con el costo de la espectroscopia por emisión. La absorción atómica de energía irradiada por átomos en estado fundamental sirve como medio de identificación comparable a la emisión de energía irradiada por átomos excitados. La absorción es un método de estimación cuantitativa de cantidades diminutas de metales.

Los últimos progresos en el campo de los reactivos o las reacciones sensibles y selectivos específicos permiten detectar y determinar muchas sustancias que interesan para los trabajos sobre contaminación del aire. La gran sensibilidad que se consigue al usar muchas de las reacciones permite establecer cantidades al nivel del microgramo y nanogramo. Las reacciones específicas o muy selectivas permiten hacer mediciones directas de contaminantes, a menudo sin necesidad de preocuparse por las posibles interferencias. Por fortuna cada vez se generaliza más el uso de equipo espectrofotométrico, del que dependen muchos de estos ensayos.

La reciente creación de los métodos de horno anular ofrece ciertas ventajas sobre las técnicas espectrofotométricas, sobre todo para analizar muestras relativamente pequeñas recogidas durante un breve período. El horno anular es un aparato sencillo y barato, que permite separar, concentrar y usar medios químicos para detectar y determinar varias sustancias en cantidades de microgramo y nanogramo. Los métodos de horno anular ofrecen grandes posibilidades para estudiar las partículas en suspensión en el aire por ser muy sensibles, seguros y convenientes. Pueden obtenerse resultados con errores relativos que no exceden del 5% al 10%, los cuales suelen ser aceptables al nivel del microgramo. Ya existen métodos concretos para determinar la existencia de aluminio, berilio, níquel, cobre, hierro, zinc, plomo, cadmio, vanadio, antimonio, selenio, fosfato y sulfato. Se están preparando más métodos.

k. Otros métodos. La activación de neutrones se usa a veces cuando hay que estudiar cantidades sumamente diminutas de material. Esta técnica es de gran sensibilidad y seguridad, y en ocasiones constituye el único método aplicable.

La espectrometría por rayos X proporciona a veces datos especiales y puede emplearse como complemento de los estudios microscópicos. Los métodos de microinvestigación resultan excepcionalmente interesantes para estudiar las partículas en suspensión en el aire en casos especiales, pero requieren técnicos muy especializados y el equipo resulta muy costoso. Lo mismo puede decirse de la microscopía de electrones, que se aplica en la investigación de problemas especiales.

Ciertos métodos electroquímicos tienen aplicaciones especiales en los trabajos sobre contaminación del aire. Las valoraciones con voltímetro pueden emplearse cuando se requieren métodos muy sensibles y precisos; estos métodos son especialmente útiles para la observación continua de los contaminantes del aire.

Hace poco se han fabricado instrumentos automáticos con suficiente sensibilidad para hacer mediciones de la atmósfera que emplean principios uniformes tales como la colorimetría, la conductividad, la destrucción de la fluorescencia por exposición a radiaciones infrarrojas y la espectroscopia por absorción.

Los efectos biológicos como indicadores de la contaminación

Los sistemas de indicadores biológicos han resultado muy importantes para señalar lo perjudicial que resulta la contaminación para el bienestar humano. Los efectos sobre la vegetación (por ejemplo, del bióxido de azufre sobre la alfalfa o los líquenes, de los fluoruros sobre los gladiolos o del etileno sobre la flor del tomate) son específicos y semicuantitativos, aunque sólo un fitopatólogo con experiencia podrá distinguir entre los efectos de la contaminación y los de las enfermedades de las plantas, de los cambios climáticos o de las condiciones del suelo. Los efectos de los contaminantes fotoquímicos del aire sobre la gramínea Poa annua y las judías pintas (Phaseolus vulgaris) se han usado para detectar y estimar el nivel de ozono y de nitrato de peroxiacetilo en mezclas. Además, los estudios bioquímicos con plantas ayudan en el análisis de los efectos de los contaminantes sobre la bioquímica del hombre.

No obstante, el indicador biológico definitivo de los riesgos que entraña la contaminación atmosférica es el hombre, y, por lo menos con respecto a un contaminante, el monóxido de carbono, el cuerpo humano actúa como sacamuestras integrador. La absorción directa de este contaminante por la sangre de los pulmones y las tasas de ingestión y expulsión razonablemente bien definidas permiten que la cantidad de monóxido de carbono existente en la sangre de los no fumadores se use inmediatamente como índice de la exposición durante las cuatro a ocho horas precisas y como guía numérica del riesgo para la salud. Midiendo con precisión la cantidad de monóxido de carbono en el aire equilibrado exhalado por personas expuestas, puede determinarse ese riesgo sencilla y directamente y con menos dificultad que si se hiciera la misma medición en el aire del ambiente.

La reducción de la colinesterasa del suero sanguíneo constituye otro indicador biológico válido de la exposición del hombre a los insecticidas orgánicos de fósforo, que a veces se convierten en contaminantes atmosféricos generales cuando se rocían desde un avión.

Elección de dispositivos e instrumentos

Para estudiar la contaminación del aire se dispone de muchos dispositivos e instrumentos, que van desde un sencillo aparato que identifica un contaminante hasta instrumentos y técnicas complicados que permiten medir cuantitativamente sustancias

/...

concretas. Como hemos indicado, la selección del método depende de la finalidad de la medición, y además de una serie de consideraciones de orden práctico relativas a la disponibilidad de mano de obra, fondos y servicios de apoyo.

Naturaleza del problema

El equipo que se empleara depende en gran parte de los requisitos concretos de la investigación. Por ejemplo, para comprobar si existe un problema de contaminación de la atmósfera puede bastar con sencillas pruebas a base de papeles impregnados o tubos detectores, y en algunos casos es suficiente una inspección del lugar. Hay que elegir el método más sencillo y económico para la labor prevista, a menos que haya motivos concretos para no hacerlo. Por otra parte, las investigaciones preliminares pueden revelar la necesidad de más trabajo, que vayan desde sencillos estudios a corto plazo hasta extensas y prolongadas investigaciones. A medida que aumenta la complejidad de la investigación, el número de dispositivos e instrumentos que pueden utilizarse queda limitado por varios factores de carácter general, que se resumen a continuación.

a) Costo. Un factor restrictivo en la mayoría de las investigaciones lo constituyen los fondos disponibles. Es indispensable que los que se destinen a la adquisición de aparatos e instrumentos de medición estén equilibrados con los asignados para el análisis e interpretación de los datos. En el pasado se ha dedicado con excesiva frecuencia una parte insuficiente del presupuesto a la reunión de datos, con lo que las conclusiones nunca se interpretan, analizan o comunican en forma satisfactoria. En la mayoría de los estudios, la disponibilidad de fondos requerirá llegar a una transacción entre lo que conviene y lo que se puede hacer. Sin embargo, no deben nunca comprometerse los fines fundamentales del proyecto con ninguna clase de compromiso.

b) Disponibilidad. La disponibilidad del equipo adecuado constituye un factor importante al elegir los aparatos que se usarán. Siempre que se pueda, es preferible emplear artículos de tipo corriente, sobre todo porque puede mantenerse y renovarse con facilidad. Sin embargo, en algunos casos habrá que construir los aparatos especialmente para una tarea determinada.

c) Sensibilidad y especificidad. Es evidente que deben elegirse los aparatos con sensibilidad y especificidad suficientes para los requerimientos del proyecto. En cambio, hay que evitar elegir equipo que sea más sensible o exacto de lo necesario, no sólo porque cuesta más, sino también porque puede requerir más cuidados y mantenimiento.

d) Tiempo de muestreo. La determinación del tiempo de muestreo requerido para el proyecto es muy importante y está relacionada con el costo. En general, el método de medición debe proporcionar datos que se adapten al tiempo de muestreo requerido. No deben emplearse instrumentos automáticos, cuando sea suficiente el equipo sencillo. La inutilidad de elegir equipo complejo cuando resulta innecesario no se debe solamente a la obtención de datos que nunca se utilizan, sino también a los mayores gastos que requiere su análisis, así como la calibración, cuidado y mantenimiento del equipo. En muchas circunstancias, con una sola estación detectora provista de instrumentos automáticos de funcionamiento continuo y auxiliada por estaciones satélite distantes equipadas con dispositivos sencillos, puede obtenerse más información sobre la distribución y variación de los contaminantes que con varias estaciones automáticas de un costo igual o superior.

e) Producción de datos. En ciertas circunstancias, quizá convenga equipar a los instrumentos automáticos de forma que la presentación de los resultados se realice en forma digital directa o en cinta para la elaboración automática de datos. No obstante, la presentación en cinta quizá sea oportuna únicamente en los casos en que se empleen por término medio períodos muy cortos (por ejemplo de menos de 30 minutos). Hay que señalar que son necesarias varias etapas para manejar los datos en el intervalo entre su presentación en cinta y el programa de análisis por computadoras. Esas etapas entrañan la preparación de nuevas cintas a base de la información que aparezca en el diario del operador, para tener en cuenta correcciones tales como la omisión de calibración y los períodos de mal funcionamiento de los instrumentos, desviación de éstos, etc. Es necesario comprobar la validez de los datos obtenidos con los instrumentos, con preferencia recurriendo a métodos automáticos. La fidelidad de los instrumentos automáticos y de los sistemas de producción de datos es ahora tal que el dispositivo para la presentación en cinta sólo debe agregarse si resulta verdaderamente necesario.

f) Requisitos de mantenimiento. Los instrumentos deben ser lo bastante seguros para que funcionen solos durante largos períodos. Esta condición debe considerarse teniendo en cuenta si se dispone de personal técnico para cuidar y mantener el equipo. El grado y la frecuencia de calibración que precisan pueden repercutir también en la selección de equipo para un proyecto determinado.

g) Requisitos de transportabilidad, alojamiento y energía. En algunos casos, la elección de equipo está sujeta a la necesidad de emplear un mismo instrumento en varios lugares, en cuyo caso la característica principal debe ser la posibilidad de transportarlo. También hay que tener presente la posibilidad de alojarlo y de usar una fuente estable de suministro de energía.

Instrumentos para el muestreo de partículas contaminantes

Además de los requisitos generales descritos, la elección de equipo para el muestreo y análisis de partículas contaminantes está influida por las necesidades concretas del proyecto. El equipo de muestreo puede ser muy sencillo o complicado y las técnicas de análisis también tienen distinta complejidad. Las clases de muestreo con análisis ulterior pueden clasificarse como sigue:

a) Partículas suspendidas. Las partículas lo bastante pequeñas para quedar suspendidas en el aire se recogen por filtración, choque, o precipitación electrostática o térmica. El análisis puede referirse al ensuciamiento, masa total, masa de componentes químicos, conteo total y conteo o composición química por tamaños; otras separaciones pueden basarse en distintas propiedades físicas. El equipo de muestreo tiene una complejidad variable, yendo desde sencillos dispositivos de filtración hasta complicados aparatos para la clasificación por tamaños. Las técnicas analíticas abarcan desde los análisis gravimétricos para calcular el peso total de las partículas hasta los micrométodos para clasificar los componentes según el tamaño. Estos últimos métodos son importantísimos cuando se trata de partículas de tamaño inferior a una micra.

b) Polvo depositable. El polvo que se deposita del aire, y que en general se compone de partículas de un diámetro mayor de 10 micras, es captado en un envase adecuado durante largos períodos de tiempo, y se analiza para calcular su peso total o el de alguno de sus componentes.

c) Emisiones. Las partículas de las emisiones pueden recogerse en los sistemas de conducción o en la chimenea, con preferencia en forma cinética, empleando técnicas que dependerán de la distribución por tamaños, la humedad y la temperatura.

Gases y vapores

Las muestras de gases y vapores de la atmósfera o de las fuentes de emisión pueden captarse aplicando varios principios físicos y químicos. Los análisis se pueden efectuar determinando la masa de los distintos componentes o de clases generales de componentes. Las técnicas analíticas que pueden aplicarse van desde los métodos químicos normales de relativa sencillez hasta las técnicas avanzadas, como la cromatografía de muchos tipos, o bien puede emplearse la cromatografía junto con métodos tales como la espectrometría de masa y los análisis espectrofotométricos de diversas clases.

El uso de dispositivos sencillos, como tubos indicadores o detectores y papel reactivo reviste especial interés para la identificación y detección de vapores y gases. Estos dispositivos resultan excepcionalmente útiles para la evaluación inicial de los problemas de contaminación del aire, aunque también pueden emplearse en otros muchos tipos de investigación en esta esfera.

Métodos indirectos

El análisis de los contaminantes o de los efectos que producen puede realizarse recurriendo a la radiación electromagnética natural o generada, o por medio de técnicas acústicas. Estos métodos van desde simples determinaciones de la densidad del humo utilizando la gráfica de Ringelmann, hasta técnicas avanzadas que se están desarrollando, basadas en principios físicos descubiertos en los últimos tiempos o en sistemas físicos perfeccionados. El último grupo incluye las radiaciones infrarrojas pasivas para la medición química semicuantitativa de los componentes del penacho de humo, la radiación infrarroja del oxígeno atmosférico para hacer mediciones de temperatura, y la retrodispersión del haz de laser o radar para determinar la altura de una inversión, etc. También corresponden a este grupo los análisis que se realizan para medir efectos tales como placas de corrosión, decoloración de tejidos y ensuciamiento.

Mediciones meteorológicas

Como la meteorología tiene un importante efecto en la contaminación de la atmósfera, puede requerirse equipo meteorológico en los estudios sobre el particular.

Equipo auxiliar

Para realizar estudios sobre la contaminación del aire se necesitan varias clases de equipo o servicios auxiliares, como bombas, flujómetros, alojamiento del equipo, suministro de energía y sistemas de presentación de datos. La fabricación en serie y la normalización de estos dispositivos resultarían muy útiles para las actividades.

Comunicación de los resultados

Para la evaluación general conviene comunicar si existen contaminantes y en qué cantidad aproximada, en un número concreto de muestras correspondientes a períodos, condiciones atmosféricas y lugares determinados. Así, pues, los resultados inmediatos pueden presentarse en forma de una lista de las concentraciones de contaminantes encontradas en las muestras obtenidas. Si se analiza un gran número de muestras, resultan útiles los gráficos e histogramas, así como la distribución acumulada de las frecuencias.

A fin de identificar las fuentes de contaminantes, los informes sobre los resultados deben proporcionar el gradiente en tiempo y espacio entre la fuente y el lugar de muestreo, en determinadas condiciones atmosféricas, sobre todo las relativas a la dirección y velocidad del viento. Si se satisface este requisito, los datos promediados suelen resultar satisfactorios. No obstante, si la intensidad de la fuente varía con el tiempo, los períodos de muestreo adquirirán suma importancia y deberán notificarse.

Para evaluar los efectos sobre la salud, se recurre a multitud de métodos de comunicación. Como para algunos contaminantes se considera que los efectos agudos sobre la salud se producen por exposición breve, conviene comunicar el promedio de datos por horas o medias horas, o bien dar mediciones continuas. Estas mediciones proporcionan abundantes datos, para cuya interpretación revisten suma importancia los métodos de comunicación y de reducción de los datos. Lo que en general se desea saber es el número de veces que ocurrió el fenómeno, su duración y la

/...

proporción en los diversos planes de muestreo del tiempo durante el cual se sobrepasó un determinado grado de contaminación. Por ejemplo: a) ¿cuántas veces por año (o mes) se han superado los $0,6 \text{ mg/m}^3$ de SO_2 ; b) durante cuánto tiempo se excedió esta cantidad, y c) en qué porcentaje del período de medición se sobrepasó?

Para algunos contaminantes, como el monóxido de carbono, el efecto sobre las personas está relacionado con una exposición lo bastante prolongada para que origine una acumulación de material en el cuerpo. Para esta clase de contaminantes, es importante disponer de promedios para cada cuatro u ocho horas, pero, igual de que en el caso anterior, conviene saber el número y duración de los fenómenos y la proporción del período de muestreo durante el cual se sobrepasaron determinados niveles. Por último, en el caso de ciertos contaminantes (por ejemplo, el plomo) sólo reviste interés médico el promedio de exposición durante períodos prolongados. Para la evaluación de otros efectos, la comunicación de los resultados dependerá de la fuente y las influencias.

Con objeto de evaluar las medidas de control aplicadas a fuentes grandes o complejas, serán útiles las tendencias a largo plazo calculadas con métodos de fácil reproducción y la comunicación de la mediana o promedio de datos para varios años o, si la medida de control se aplican a una fuente puntual, se requerirán informes que comparen las mediciones antes y después del control.

A los efectos de evaluar la relación entre las condiciones atmosféricas y la contaminación, los métodos de comunicación de datos deben depender de las hipótesis concretas que se estén comprobando, pero con frecuencia, resultarán convenientes modelos matemáticos o datos seleccionados, pues los promedios a largo plazo no son satisfactorios.

Cuando se emplea un registro continuo, los valores máximos suelen comunicarse prestando poca atención al hecho de que dependen de la duración del muestreo, el tiempo medio intrínseco del instrumento y condiciones atmosféricas reinantes. Esos valores máximos tienden también a ocultar errores de análisis o de medición, lo cual constituye otro motivo para que, si se comunican, se les relacione con la distribución de frecuencias en que se apoyan.

Son preferibles los siguientes métodos para comunicar resultados:

1. Para un período determinado de muestreo o integración, pueden agruparse los resultados por frecuencia de ocurrencia y prepararse un gráfico que lo indique, o mejor aún un histograma del porcentaje de frecuencia para una concentración determinada o cualquier exceso sobre la misma.

2. Puede prepararse una serie de histogramas estatificados para cada emplazamiento, por toda la duración del estudio o para períodos determinados, como un mes, una semana, todos los lunes o todos los martes; en el caso de contaminación por los gases de escape de vehículos automotores, los histogramas pueden ser de los datos para horas sucesivas del día, pero, si se elige una hora determinada, el gráfico de los resultados podría abarcar, por ejemplo, todos los lunes, todos los martes o todos los días de la semana.
3. Todo lo que antecede acerca de los histogramas es también aplicable al promedio de los resultados, ya que además del promedio general de todas las determinaciones, puede haber promedios por meses, semanas, días e incluso horas. Deben indicarse claramente los valores que han sido promediados.
4. Los resultados deben presentarse en todos los casos para que puedan usarse estadísticamente; los gráficos y diagramas suelen ser preferibles a los cuadros y figuras.
5. Otro factor que no debe pasarse por alto es la preparación de un mapa de contaminación para una región determinada. Los principios enumerados también son válidos para los períodos de tiempo que han de emplearse. Además, hay que tratar de utilizar isópletas (líneas que unen puntos de igual grado de contaminación).
6. Cuando sea posible, conviene determinar la correlación en el tiempo o el espacio con un factor de contaminación. Así pueden trazarse curvas que muestren la concentración de un determinado contaminante en la misma escala de tiempo que las que indican la emisión procedente de una fuente de contaminantes o la velocidad y dirección del viento.

La meteorología y las mediciones de la contaminación atmosférica

Las mediciones de la contaminación de la atmósfera pueden realizarse para diversos fines. Sin embargo, en la mayoría de los casos debe utilizarse la información meteorológica para determinar la significación de los resultados de las mediciones. El número y tipo de éstas mediciones meteorológicas dependerá de la finalidad y complejidad del estudio y de los datos e instrumentos disponibles. Por conducto de los organismos meteorológicos oficiales se suele disponer de datos sobre la temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento y precipitación. Los datos sobre la variación de la temperatura con la altura suelen ser excepcionalmente útiles.

La medición del contenido del CO_2 puede tener importancia para conocer el equilibrio calórico de la atmósfera terrestre. Las observaciones de ciertos contaminantes pueden ayudar a comprender los movimientos atmosféricos. Además, se ha comprobado que la contaminación del aire reduce la visibilidad. Aunque en la actualidad no parece probable que haya niebla densa a causa exclusivamente de la presencia de contaminantes, pueden ocurrir que la mala visibilidad dure más tiempo debido a ellos.

La contaminación, especialmente de partículas, también puede perturbar la radiación solar. Cuando los contaminantes se estudian por otros motivos (por ejemplo, en relación con sus efectos sobre la salud) deben tenerse presente los factores meteorológicos, pues la concentración de contaminantes depende de ellos, como de las propiedades de la fuente. Tanto la contaminación como los factores meteorológicos pueden influir en la salud.

Si lo único que se persigue es una enumeración de los contaminantes, quizá no se necesiten datos meteorológicos complementarios, pero si pueden resultar necesarios para interpretar el grado de contaminación observado en la atmósfera.

Los factores más importantes en la concentración de contaminantes son el viento (dirección y velocidad) y la estabilidad de la atmósfera. Por lo general, no será posible, ni resulta siempre necesario, medir la dirección y velocidad en cada lugar en que se mida la contaminación. La necesidad de tales datos depende de la finalidad de la medición.

La información meteorológica disponible puede aprovecharse con la máxima eficacia si el período durante el cual se toman muestras del contaminante es breve; por ejemplo no mucho mayor de una o dos horas. En general, hay que proceder con precaución al combinar los promedios o totales de concentración de un contaminante calculados para un largo período (como un mes) con los datos sobre el viento (por ejemplo, con el lapso durante el cual ha soplado en una dirección determinada). Podría ocurrir que la exposición a la contaminación tenga lugar sobre todo cuando el viento proceda de una dirección relativamente inusitada durante el período de observación.

La estabilidad de la atmósfera puede variar con la dirección y velocidad del viento. Como la estabilidad depende, entre otros factores, de la distribución vertical de temperaturas en la capa correspondiente, sus efectos son complejos. Las condiciones estables tienden a eliminar los movimientos verticales en la atmósfera, pero esto puede producir sobre los contaminantes procedentes de fuentes a gran altura distintos efectos que sobre los emitidos en las capas bajas. En el primer caso (por lo menos mientras haya algo de viento) el contaminante no llegará al suelo, o lo hará raras veces; en el segundo, no se difundirá en sentido ascendente. Sin embargo, durante un estancamiento prolongado de la atmósfera, que dure una semana o más, no debe pasarse por alto la mezcla diaria de contaminantes debajo de las inversiones elevadas.

Es difícil obtener información fidedigna sobre la estabilidad en los 200 a 300 m. de la capa inferior de la atmósfera. La mejor manera de conseguir esta información es por medio de torres meteorológicas, pero no existen en número suficiente. En la tierra, la estabilidad es mayor durante las primeras horas de la mañana y menor durante la tarde. Por lo tanto, recomendamos mucho que si pueden hacerse observaciones de una hora de duración no se hagan siempre a la misma hora del día, pues de otro modo podría introducirse un sesgo en el análisis. Para demostrar la variación diurna de los contaminantes son preferibles las mediciones continuas o repetidas. Los factores meteorológicos importantes son la precipitación (que puede servir para limpiar el aire según el tamaño de las gotas y las propiedades del contaminante) y la radiación solar (que puede originar reacciones químicas). Este último fenómeno plantea un problema químico más bien que meteorológico, pero su existencia indica que no siempre es posible comparar las observaciones de contaminantes especiales en diferentes latitudes, altitudes y épocas. En tales casos, quizá tenga también importancia disponer de información sobre la nubosidad.

La humedad relativa puede desempeñar algún papel, ya que ciertos contaminantes, debido a los electrolitos que contienen, pueden empeorar la visibilidad, como ya hemos indicado. La presencia en el aire de gotitas de niebla acuosa facilita la oxidación del bióxido de sulfuro en ácido sulfúrico.

Por lo tanto, es más probable que se puedan sacar conclusiones seguras de las observaciones de la contaminación de la atmósfera cuando se obtienen las medidas de la contaminación y de los fenómenos meteorológicos en forma coordinada. Siempre que

/...

sea posible, esa coordinación debe iniciarse al comienzo de las actividades, sobre todo al planear la ubicación de los puestos de observación, a fin de que las observaciones sean lo más representativas posible.

Hay que examinar la posibilidad de establecer y evaluar modelos matemáticos de la difusión de contaminantes procedentes de fuentes puntuales aisladas, así como de fuentes extendidas, por ejemplo, las ciudades. Quizá sea también útil estudiar con modelos matemáticos la información sobre la influencia de la topografía en la difusión de contaminantes.

Peligro que encierran para el hombre algunos contaminantes atmosféricos

Además de los efectos de la gran concentración de contaminantes en el aire estancado de los núcleos urbanos, los estudios epidemiológicos indican que una concentración mayor de la normal, pero muy inferior a la registrada en casos extremos, tiene efectos perceptibles y posiblemente acumulativos en las personas propensas. Se han utilizado varios índices de mortalidad y morbilidad (algunos de los cuales se describirán brevemente), pero es evidente que los efectos de una contaminación subaguda son más aparentes cuando se estudian un gran número de individuos propensos. Hasta ahora, los estudios realizados en el Reino Unido no han permitido determinar concretamente si el elemento nocivo es el humo o el bióxido de azufre, es decir, los contaminantes que se suelen medir como índices de contaminación. Por fortuna, la aplicación de las disposiciones de la Clean Air Act en el país está haciendo que disminuya la contaminación originada por el humo, y los nuevos estudios sobre la reacción a la contaminación en que ha variado la relación humo/bióxido de azufre quizá permitan evaluar los efectos de cada uno de estos contaminantes.

Es evidente que dos enfermedades, en cuyo origen se cree que la contaminación de la atmósfera desempeña un cierto papel (la bronquitis crónica y el cáncer pulmonar), están íntimamente relacionadas con otros factores, sobre todo el uso de cigarrillos. El estudio de las poblaciones industriales - grupos de personas que están expuestas en su trabajo a altas concentraciones de contaminantes que se sospecha influyen en la aparición de dichas enfermedades - es útil. Los resultados combaten con frecuencia la aceptación de sencillas hipótesis sobre los irritantes y los carcinógenos tradicionales.

La OMS ha patrocinado en pares de ciudades europeas varios estudios experimentales sobre la contaminación y su relación con la frecuencia del cáncer pulmonar. Los resultados indican que esta técnica, costosa en términos de tiempo y dinero, tiene un valor muy limitado, principalmente por que no es posible evaluar la exposición en el pasado. Si se realizan estudios del medio urbano, deben relacionarse con los estudios epidemiológicos proyectados.

Los estudios epidemiológicos en los que se aplican métodos comparables a poblaciones con empleos parecidos, realizados en Londres, las zonas rurales de Inglaterra, las ciudades de la región oriental de los Estados Unidos, San Francisco y los Angeles, han demostrado que la persistencia de la tos y esputos es bastante corriente en todas las ciudades estudiadas y que el motivo principal es el fumar cigarrillos. Las cifras obtenidas en las pruebas de la función pulmonar fueron casi idénticas en las ciudades del litoral oriental y occidental de los Estados Unidos, pero mayores a las de grupos comparables de la zona rural de Inglaterra y mucho mayores que las correspondientes a la población de Londres. La frecuencia de la combinación de tos y esputos persistentes con insuficiencia respiratoria o enfermedad pulmonar aguda e incapacitante era máxima en Londres; menos corriente en la zona rural de Inglaterra y mínima en las ciudades de los Estados Unidos. Estas frecuencias podrían estar relacionadas con la contaminación de la atmósfera.

Muchos tipos de contaminación del aire producen olores desagradables, pero es necesario estudiar más la relación que existe entre determinadas sustancias o mezclas de ellas, y la reacción de las distintas poblaciones.

La irritación de los ojos y del aparato respiratorio es el principal síntoma debido a la contaminación fotoquímica como la que existe en Los Angeles. Esto se ha atribuido a las materias oxidantes del aire; no es seguro que haya la misma relación de causa a efecto en otras comunidades. Este tipo de contaminación parece agravar los síntomas de algunas personas con enfermedades respiratorias crónicas, pero la medición de tal efecto es difícil.

En las ciudades con muchos automóviles es relativamente corriente la existencia en la atmósfera de un nivel de CO suficiente para producir un 2% de carboxihemoglobina. Se ha comprobado que este porcentaje perturba las funciones psicomotoras, pero es necesario investigar si puede influir en la capacidad para conducir un vehículo automotor.

Se sabe que el ozono es letal para los animales en concentraciones de 6 ml. por m³, lo que representa sólo seis veces más que la concentración máxima registrada en Los Angeles. Se ha demostrado hace poco que la exposición durante dos horas a 0,6 ml. por m³ perturbó la difusión de gas de los alvéolos a la sangre en once personas. Hay que estudiar cómo se producen esos efectos, así como los factores que influyen en la sensibilidad de distintos grupos de la población.

Algunos contaminantes, como el plomo, que son almacenados por el organismo, pueden producir efectos tóxicos o de otra índole según la cantidad que haya almacenada. No se han observado efectos perjudiciales debidos al plomo que hay en el aire del ambiente, pero hay que investigar más esta cuestión.

La contaminación de los ambientes industriales por productos químicos orgánicos sintéticos y los productos de sus fases intermedias es cosa corriente. El estudio de los efectos y la determinación de la concentración tolerable incumben al toxicólogo y al especialista en higiene industrial. Fuera de la fábrica, se cree que la contaminación de la atmósfera por esos productos ocurre simplemente como una fase de la aplicación deliberada de estas sustancias a la vegetación, el suelo y al exterior de los edificios, así como en el almacenamiento de los alimentos y en el hogar. Los problemas que implica este tipo pasajero de contaminación son probablemente de carácter local y, como ya está identificado el producto químico correspondiente y se conocen sus propiedades, pueden tomarse precauciones contra su inhalación.

La contaminación del aire de la comunidad en general por dichos productos químicos es probablemente insignificante. (Este problema hipotético debe examinarse indudablemente a la luz de la contaminación genuina de la atmósfera urbana por las sustancias inorgánicas "tradicionales" y "nuevas".) Resulta dudoso que los plaguicidas sintéticos líquidos o en polvo puedan dispersarse de nuevo con facilidad en forma inhalable, ya que su composición y los métodos de dispersión están ideados para conseguir la máxima retención en las superficies donde se depositen. Sólo una considerable abrasión puede hacer que se desprendan de estas aplicaciones de insecticidas partículas susceptibles de quedar suspendidas de nuevo en el aire y de tamaño lo suficientemente pequeño para ser inhaladas.

CONTAMINANTES DE LA ATMOSFERA CON EFECTOS RECONOCIDOS O POSIBLES A LARGO PLAZO SOBRE LA SALUD, A NIVELES CORRIENTES DE CONTAMINACION DEL AIRE

	Sustancias que se cree producen por sí solas efectos a largo plazo (Los efectos se indican entre paréntesis)	Posibles efectos a largo plazo de las mezclas	Referencia
<p>Sustancias con efectos agudos o crónicos conocidos sobre la salud</p>	<p>Arsénico Asbesto Berilio</p>	<p>Be + F (Los fluoruros activan cambios pulmonares en la beriliosis) Sinérgicos en la reducción de PO_2</p>	<p>Stokinger von Oettinger</p>
<p>Monóxido de carbono</p>	<p>Arsénico (dermatitis arsenical) Asbesto (asbestosis y mesotelioma) Berilio (beriliosis)</p>	<p>Los carcinógenos producen tumores en presencia de elementos estimulantes Fluoruro (estimula o acelera las enfermedades pulmonares) Hidrocarburos + O_3 → tumorígeno + gripe → cáncer Contrarresta los contaminantes (en realidad no es perjudicial para la salud)</p>	<p>Stokinger Kotin</p>
<p>Carcinógenos</p>	<p>Partículas inorgánicas (esclerosis pulmonar)</p>	<p>Con plomo de otras fuentes $NO \rightarrow NO_2$</p>	<p>Kehoe</p>
<p>Fluoruro</p>	<p>(flojo acelerador de los tumores pulmonares)</p>	<p>NO_2 + microorganismos (neumonía) + HNO_3 (bronquilitis fibrosa obliterante) + alquitranes (cáncer pulmonar del fumador)</p>	<p>Ehrlich et al. Gray, Stokinger</p>
<p>Hidrocarburos</p>	<p>Agentes asmógenos (asma)</p>	<p>O_3, acelerador de tumores pulmonares + microorganismos</p>	<p>Paulus Stokinger Coffin</p>
<p>Sulfuro de hidrógeno (+ mercaptanos)</p>	<p>Ozono (cambios pulmonares crónicos y envejecimiento acelerado)</p>	<p>SO_2, SO_3 + partículas agravan las enfermedades pulmonares</p>	<p>Amður Lawther</p>
<p>Partículas orgánicas (agentes asmógenos)</p>	<p>Oxidantes orgánicos (nitratos de peroxiacilo)</p>		
<p>Ozono</p>	<p>Bióxido y trióxido de azufre</p>		

Es probable que las emisiones de productos químicos orgánicos sintéticos producidas por la industria sean reducidas, pues se trata de productos primarios y no de residuos. Puede considerarse alentador el hecho de que en la fábrica es posible destruir cualquier residuo de esos productos en la misma forma que los gases odoríferos, haciendo pasar el aire que lo contenga por la chimenea, ya sea por el lecho del horno o en cualquier punto antes del cambiador de calor, donde puede descomponerse totalmente la molécula en cuestión. La destrucción del material orgánico de desecho, como los residuos de plásticos, debe ser completa y no debe incinerarse nunca ese material en vertederos al aire libre.

Las investigaciones sobre la contaminación de la atmósfera por los gases de escape de vehículos automotores permiten suponer que el destino final de la materia orgánica en el aire sea la oxidación total. Es innegable que algunos productos químicos pueden intervenir en reacciones que formen nuevas sustancias irritantes como productos intermedios de vida más o menos larga. No puede sostenerse que este tipo de contaminación sea debido a los productos químicos orgánicos sintéticos, pero sirve como ejemplo de lo que podría suceder si se lanzaran esos productos a la atmósfera.

Peligros a largo plazo de la contaminación del aire

En el cuadro II figuran los contaminantes atmosféricos generales con efectos conocidos o posibles sobre la salud. Se han incluido los contaminantes del aire que se presentan localmente (arsénico, berilio y fluoruro) porque ha habido graves efectos a largo plazo sobre la salud de los seres humanos y animales que habitan en comunidades próximas a las industrias que emiten esas sustancias.

Entre los dieciséis contaminantes o grupos contaminantes del aire, se cree que siete tienen posibles efectos crónicos (columna 2) a los niveles realmente observados. En cambio, la mayoría de los contaminantes atmosféricos generalmente reconocidos (columna 3) pueden, en combinaciones adecuadas y a ciertos niveles, convertirse en una posible amenaza contra la salud.

Estas conclusiones se han sacado de estudios toxicológicos realizados en animales o seres humanos, de experimentos de higiene industrial y de estudios epidemiológicos.

La elevada tasa de morbilidad y mortalidad por afecciones de las vías respiratorias en las zonas urbanas de Europa y América del Norte ha creado la idea de que la inhalación de aire contaminado produce, entre otras cosas, enfermedades respiratorias crónicas. Sin embargo, el elevado porcentaje de bronquitis crónica que se ha comunicado existe en los pueblos y aldeas de Italia y de Yugoslavia y la frecuencia del cor pulmonale en algunas zonas rurales de la India sugieren que quizá intervengan otros factores, además de la urbanización y del tabaco.

La difundida irritación aguda y subaguda de las vías respiratorias debida al hollín y al tipo SO_2 de contaminación en Europa, y a los productos de reacción fotoquímica en Los Angeles, también ha hecho suponer que pueden presentarse efectos a largo plazo en el sistema respiratorio. Se han hecho muy pocos estudios de la relación entre los efectos agudos y a largo plazo.

En un estudio de las consecuencias a largo plazo de una exposición intensa a los contaminantes, que originó un aumento inmediato de la mortalidad en Donora, se comprobó que quienes sólo sufrieron efectos agudos en 1948 pero no habían tenido síntomas respiratorios previos, no hubo incremento de la mortalidad 10 años más tarde.

Mecanismo de la acción contaminadora y absorción por las vías respiratorias, y métodos para estudiarlo

Los mecanismos de los efectos a largo plazo no se conocen bien. En especial se sabe muy poco acerca de la relación entre las formas de reacción aguda de las vías respiratorias (disminución del calibre, secreción y tos) y los efectos a largo plazo.

Las vías respiratorias, dentro de las cuales la materia extraña inhalada puede entrar en estrecho contacto con la sangre que circula por el organismo, tienen muchas defensas.

En primer lugar, está la compleja anatomía de la cavidad nasal y de las vías respiratorias altas que hace que las partículas más grandes y más pesadas choquen y se depositen. En general, las partículas de este tamaño son análogas a las que se depositan en los recipientes para medir la acumulación de polvo empleados en los muestreos del ambiente. Como estas partículas no llegan a las partes más profundas de los pulmones, sus efectos sobre la salud aparecen en su mayor parte como reacciones de la conjuntiva a cuerpos extraños y sus efectos a largo plazo es probable que sean relativamente poco importantes.

Las partículas más pequeñas (menos de tres μ) suelen pasar a través de las vías respiratorias altas y llegar hasta las partes profundas del pulmón. Allí serán disueltas, si son solubles, o fagocitadas, si son insolubles. Algunas veces se depositan en la periferia o son filtradas por los ganglios linfáticos. Si las partículas son de una de las formas de cuarzo, de algunos otros minerales o de berilio, pueden finalmente conducir a la fibrosis o a la granulomatosis.

Así, es el tamaño de la partícula, o más precisamente su velocidad de caída, lo que determina qué parte de las vías respiratorias recibe las sustancias contaminantes, así como qué dosis y tipo.

En cambio, lo que determina la porción de las vías respiratorias que se convertirá en blanco principal de los contaminantes gaseosos, es la solubilidad de los gases. En concentración muy grande, la mayoría del bióxido de azufre inhalado es absorbido por la mucosa de la nariz y las vías respiratorias altas, pero a medida que disminuye la concentración las vías respiratorias absorben una fracción menor de la dosis inhalada.

Las partículas contaminantes (incluso si son químicamente inertes) y los gases tales como el SO_2 pueden causar modificaciones del calibre de las vías respiratorias, commensurables por sus efectos sobre la resistencia al flujo de aire. En animales se ha demostrado que las partículas inertes (NaCl), que por sí solas producían poco efecto, podían aumentar mucho el efecto del bióxido de azufre sobre la resistencia de las vías. De ese trabajo se han derivado otros muchos estudios de los efectos de las combinaciones de partículas y gases. Predominan tres principios generales. Primero, se cree que la superficie de la partícula es un lugar donde pueden reaccionar las moléculas de gas. Un ejemplo lo constituye la oxidación del SO_2 y SO_3 , que se facilita mediante la acción de gases y líquidos sobre una superficie de partículas. Así, la concentración local de moléculas contaminantes cuando una partícula choca contra la superficie de una vía respiratoria o de un alvéolo puede ser mucho mayor que el promedio previsto basándose en la hipótesis de que las moléculas contaminantes están distribuidas de una manera uniforme en todo el aire inhalado. El tercer mecanismo es la capacidad de las partículas como portadoras de moléculas contaminantes, cuando no podrían ser transportadas de otro modo. Por ejemplo, se ha descubierto que las partículas finas de hollín ligarán el benzo(a) pireno tan firmemente que la sustancia es arrastrada a gran profundidad en el pulmón y retenida allí durante varios días, lo que parece ser tiempo suficiente para originar un auténtico cáncer escamoso del pulmón en el 70% de los animales expuestos durante los experimentos.

El pulmón puede reaccionar de diversas formas. Ya hemos citado la contracción de las vías respiratorias y las reacciones fibróticas y granulomatosas. En los asmáticos se producen cambios extremos del calibre de las vías. La secreción de mucosidad es uno de los mecanismos para neutralizar y disolver los contaminantes gaseosos y para atrapar las partículas contaminantes. La bronquitis crónica es una forma persistente y exagerada de este mecanismo de defensa. El efecto sobre la membrana mucosa puede conducir a un engrosamiento de la capa secretoria o a que su secreción sea más espesa o más viscosa. El movimiento ciliar puede resultar directamente afectado. Esto se ha demostrado experimentalmente en animales, después de haberlos expuesto a grandes concentraciones de algunas de las sustancias contenidas en aire contaminado. Si la capa de mucosidad es espesa y se disminuye la velocidad de transporte, las bacterias y otras sustancias inhaladas pueden permanecer en los pulmones después de haberse depositado allí.

Es necesario hacer estudios de los efectos de los distintos contaminantes atmosféricos en la capacidad de purificación del pulmón, así como sobre la actividad ciliar y la densidad y viscosidad de la mucosidad. También es importante estudiar con más detenimiento la absorción de los diferentes gases, tales como el SO_2 y el ozono, en las vías respiratorias altas.

De las sustancias que figuran en la lista del cuadro II, el bióxido de azufre, el ácido sulfúrico, algunos de los sulfatos y la fluorina son irritantes intensos de las vías respiratorias y provocan una reacción rápida de las mismas. A ellos pueden agregarse otros contaminantes mejor conocidos mediante la experiencia de distintas ocupaciones, tales como el cloro, el formaldehído y la acroleína.

Las reacciones al ozono, al bióxido de nitrógeno y a algunos óxidos metálicos pueden ser intensas y agudas, pero el comienzo se retrasa a menudo algunas horas.

Se cree que las reacciones al polen, al polvillo del algodón y del lino y al desecho de la semilla del ricino, entrañan algún mecanismo inmunológico u otro mecanismo que depende del factor tiempo.

El berilio, el asbesto y el bióxido de nitrógeno tienen determinados efectos a largo plazo, cuyas manifestaciones pueden no acusarse por completo durante meses o años.

Indicios de los efectos a largo plazo en el hombre

Ha habido algunos informes sobre efectos a largo plazo en las vías respiratorias, que se sospecha están relacionados con la contaminación del aire. Para presentar una descripción más adecuada de la que puede hacerse hoy, los estudios epidemiológicos de los estados cardiopulmonares y de la función respiratoria deben complementarse con exposiciones de laboratorio y con seres humanos a niveles reales y con combinaciones reales. Tales estudios deben tener en cuenta en cada caso el papel del cigarrillo, de las exposiciones por causas profesionales y de variables extrañas antes de que pueda aceptarse una relación de "causa a efecto" entre la contaminación del aire y los estados respiratorios crónicos.

Enfermedades pulmonares crónicas no específicas. En la Gran Bretaña, una serie de cuidadosos estudios ha servido para relacionar la morbilidad y la mortalidad con la contaminación de la atmósfera. Estos trabajos se han examinado en detalle en el Public Health Paper No. 15 (Epidemiology of air pollution) de la OMS, y,

por lo tanto, no los analizaremos aquí. En estudios análogos hechos en otros países, solamente la tos crónica y el esputo han demostrado tener una prevalencia similar en muchas zonas con diferentes niveles de contaminación, y estos síntomas se presentan con más frecuencia en los fumadores de cigarrillos que en los no fumadores. Sin embargo, la frecuencia de disneas y de estados prolongados de deficiencia respiratoria era mayor en Londres que en las zonas rurales de Inglaterra o que en las ciudades de otras partes del mundo. Las pruebas de la función respiratoria son análogas por su forma. En el Japón se han presentado indicios igualmente convincentes de que los estados respiratorios crónicos existen con más frecuencia en las zonas contaminadas.

En los Estados Unidos, el enfisema como causa declarada de defunción abunda en las zonas urbanas más que en las rurales. La relación entre el enfisema y la contaminación del aire todavía no se ha probado tan claramente como en el caso de la bronquitis crónica, pero esto quizá se deba en parte a posibles discrepancias al informar sobre la bronquitis crónica y el enfisema.

Efectos de la contaminación en la salud de los niños. Los estudios sobre los niños mediante el uso de pruebas de nutrición y de la función respiratoria han demostrado que la anemia, la morbilidad, las anormalidades del desarrollo y los estados respiratorios están asociados con la contaminación del aire.

Indicios de los efectos en las vías respiratorias, etc., a base de estudios de laboratorio

Exposición combinada

El cuadro II indica bien claramente que, a los niveles de contaminación de la atmósfera que existen hoy o que existirán en un futuro previsible, puede esperarse que la posible amenaza a la salud a largo plazo se deba no tanto a un solo contaminante como a una combinación de ellos. La combinación puede producirse con otros contaminantes del aire o con microorganismos infecciosos.

Los estudios en animales y los epidemiológicos respaldan esta afirmación sobre los posibles efectos de los contaminantes del aire. Se ha descubierto que una sola exposición de ratones a vestigios (unas cuantas ppm) de ozono, que es un irritante de las vías respiratorias aumentó la tasa de mortalidad de los roedores infectados antes o después con Klebsiella pneumoniae. De modo análogo, el óxido de nitrógeno a una concentración de 0,5 ppm únicamente sinergizó el efecto de este microorganismo,

pero sólo después de una exposición casi continua durante más de tres meses. En los pulmones de los ratones se produjeron auténticos cánceres escamosos análogos a los que se encuentran en el hombre, exponiendo a los animales primero a la infección de un virus de gripe y luego a grandes dosis de gasolina ozonizada. En los animales que fueron expuestos a la gasolina ozonizada solamente, no hubo cambios de importancia; en los que sólo fueron infectados, el 8% presentó modificaciones escamosas en los bronquios que coincidían con el proceso curativo después de la infección, con alguna alteración metaplástica ocasional; sin embargo, el 30% de los animales expuestos a la combinación presentó carcinoma escamoso. Así, pues, al agregar infección a una exposición al aire contaminado puede demostrarse el efecto de la contaminación del aire.

Estudios funcionales

El empleo del pletismógrafo en que cabe todo el cuerpo de un individuo ha dado por resultado muchas observaciones útiles sobre los efectos de los irritantes de las vías respiratorias en el flujo gaseoso, la presión intrapleuraleal y el volumen corriente tanto en el hombre como en los animales. Las variaciones de estos parámetros se han relacionado con concentraciones conocidas de SO_2 , SO_3 , O_3 , vapores de ácido sulfúrico, escapes de vehículos automotores, etc., solos y en combinación con partículas de aerosoles sólidos. De forma análoga, puede usarse el respirómetro para medir las modificaciones en los animales y en el hombre de la función respiratoria (consumo de O_2) después de inhalados contaminantes de la atmósfera, obteniendo así una medición sensible de las alteraciones fisiológicas que se producen en el pulmón. En el hombre, la velocidad de difusión del monóxido de carbono (DL_{CO}) desde los alvéolos a la sangre puede usarse para medir la influencia de la exposición contaminante en el intercambio de gases de respiración y, combinada con otras mediciones (tales como el volumen de la capacidad vital y de la expiración forzada), para localizar el lugar donde actúa el contaminante del aire. Los efectos sobre el movimiento ciliar y las mucosas de las vías respiratorias altas pueden usarse para estimar la capacidad perjudicial de los contaminantes del aire, tanto si tienen forma de partículas como de gases. También pueden medirse las modificaciones del espesor de la capa secretoria de las membranas mucosas o de la viscosidad de la mucosidad. El efecto de los contaminantes atmosféricos en la capacidad de purificación del pulmón y el estudio de la velocidad de absorción de los gases, vapores y partículas en las vías respiratorias altas y bajas son otros métodos

Estudios bioquímicos

Los diversos tipos de medidas bioquímicas proporcionan índices útiles de los desarreglos en el funcionamiento normal de los organismos. Aunque a menudo son no específicos, constituyen importantes fuentes de información para los estudios toxicológicos de laboratorio y pueden extenderse con provecho a la evaluación de los efectos de la exposición de los seres humanos a los contaminantes. En general se desconocen las relaciones entre esos cambios y los efectos a largo plazo.

La medición de la velocidad con que la tiroides libera I^{131} proporciona una estimación de la presión de los elementos tóxicos en el mecanismo homeostático. Este hecho se ha aprovechado en animales, para estudiar los contaminantes atmosféricos que irritan las vías respiratorias. Con este procedimiento se pueden medir otras reacciones de la tiroides a la presión de los elementos tóxicos (por ejemplo, los estados refractario e hiperactivo). Debido a su sensibilidad, resultaría útil hacer un estudio comparativo de este método con el de las reacciones de comportamiento. De manera análoga, las modificaciones de la función renal como respuesta a las sustancias que entran en las vías respiratorias pueden medirse determinando los corticoides en la orina.

Las mediciones cuantitativas de las alteraciones de la actividad enzimática, los productos de la actividad enzimática (metabolitos orgánicos) o los cofactores enzimáticos ofrecen esencialmente un criterio bioquímico sólido para la detección precoz de la alteración metabólica resultante de exposiciones largas a los contaminantes del aire. Los indicadores bioquímicos son muchos y hay que elegirlos con cuidado para atender a las necesidades toxicológicas.

El único indicador bioquímico que tiene la aplicación más amplia a la alteración metabólica crónica en los animales, es el glutatión pulmonar (GSH). En animales se ha observado una significativa disminución del GSH pulmonar después de la exposición crónica a los contaminantes atmosféricos (derivados del petróleo). Esta variación apareció antes que los indicios de modificaciones histológicas. El GSH es un requisito para la integridad de la membrana celular y para la actividad de muchas enzimas importantes. Así, las enzimas que dependen de los grupos SH para realizar su actividad, también son buenos indicadores de las modificaciones bioquímicas. Las alteraciones que se observan en la proporción de proteínas séricas, especialmente la relación albumina/globulina (A/G), determinadas por electroforesis

por papel, constituyen un buen indicador general de los desórdenes del metabolismo. La espectroscopía por absorción de rayos ultravioleta es una manera rápida de detectar y seguir las modificaciones en la sangre y en los tejidos. Las técnicas inmunológicas más sensibles para detectar los anticuerpos circulantes o fijos pueden usarse con algunos de los contaminantes del aire más reactivos. Los cambios en este mecanismo de defensa del organismo pueden tener efectos importantes en la evaluación no sólo del grado de presión de los elementos tóxicos, sino también en el discernimiento del mecanismo por el que actúa el contaminante. Se han sugerido otros métodos inmunológicos: el recuento de las células del plasma y la determinación cuantitativa de la modificación de la capacidad del organismo sometido a presiones de elementos tóxicos para crear anticuerpos con la inmunización. Es necesario realizar más estudios en esta esfera.

Efectos sobre las facultades reproductivas y la genética de los animales

Además de las "normas de funcionamiento" de la toxicología que se usan desde hace tiempo para detectar las modificaciones crónicas, tales como peso del cuerpo, ingestión de alimentos, relaciones de peso entre los órganos y el cuerpo, modificaciones hematológicas e histológicas etc., se pueden esperar resultados muy útiles recurriendo a los efectos de las exposiciones moderadas sobre las facultades reproductivas de las especies animales pequeñas (ratones o ratas) estimadas en la generación de F_2 .

Almacenamiento de contaminantes

Las tendencias del almacenamiento y acumulación de contaminantes inorgánicos y orgánicos y sus metabolitos pueden determinarse con métodos espectroquímicos y químicos en tejidos y flúidos orgánicos. En algunos países ya se dispone de información sobre la acumulación normal de metales en el hombre, que puede servir de base para juzgar las modificaciones en el almacenamiento y acumulación de contaminantes. Los análisis espectroquímicos, y con preferencia químicos, del pulmón y del hígado, para comprobar los cambios de contenido de microelementos metálicos esenciales tales como cobre, molibdeno y zinc, indican que los tejidos de animales experimentan notables modificaciones después de una larga exposición a los contaminantes de la atmósfera.

Generación de tumores

Un procedimiento muy sensible es el uso de cepas de ratones propensas a tumores pulmonares (por ejemplo, CAF₁/Jax) en las que se sabe hay una gran incidencia de tumores. La exposición de esta cepa o de alguna análoga a los contaminantes del aire, el examen periódico de los pulmones para detectar tumores y la comparación con controles adecuados, pueden usarse para medir la posibilidad de aceleración (o de inhibición) de tumores pulmonares que tiene la contaminación atmosférica.

Control y prevención de la contaminación del aire

El control de la contaminación del aire es en última instancia un problema de ingeniería. En principio, debe ser posible reducir la contaminación del ambiente a niveles inferiores a los recomendados por los índices de calidad del aire aplicando uno o más de los siguientes procedimientos: a) contención, es decir, prevención del escape de sustancias tóxicas al ambiente; b) sustitución de ciertos procesos técnicos o combustibles por otros nuevos que contaminen menos el aire, o c) reducción de la concentración de sustancias tóxicas en el aire por dilución. Estos tres métodos ingenieriles pueden complementarse con la restricción del uso de sustancias que puedan convertirse en contaminantes (por ejemplo, insecticidas).

La contención puede lograrse mediante diversos métodos de ingeniería, tales como encerramiento, ventilación y purificación del aire, que son muy eficaces, especialmente en la ingeniería sanitaria nuclear. Sin embargo, hay que señalar que el perfeccionamiento de los métodos de contención ha ido acompañado de un considerable aumento de los gastos de explotación, y que el factor económico dificulta muchísimo su aplicación con suma frecuencia. También hay que señalar que los métodos de contención, aunque muy eficaces, nunca son totalmente efectivos.

El segundo principio de control, la sustitución de un proceso técnico que contamine el aire por otro nuevo libre de productos contaminantes, ha tenido mucho menos éxito en la práctica. El motivo resulta evidente. El nuevo proceso debe ser tecnológicamente equivalente al antiguo en todas sus características esenciales, tales como la calidad del producto final, la facilidad de conseguir materias primas, etc., y debe ser también satisfactorio en lo que se refiere al costo de producción. Todos estos requisitos son difíciles de satisfacer y exigen costosas investigaciones industriales a largo plazo, acompañadas de investigaciones

toxicológicas también largas y costosas. Sin embargo, la sustitución puede ser en algunos casos, la única solución a un problema concreto de control de la contaminación del aire. La restricción del empleo de nuevos productos químicos sintéticos posiblemente perjudiciales depende de que se puedan conseguir sustancias o procesos adecuados que los sustituyan.

El tercer principio, la dilución, sólo debe usarse si los dos primeros métodos resultan inaplicables o poco satisfactorios por motivos técnicos o económicos.

II. Contaminación del agua

Tendencias y significado sanitario de la creciente contaminación

Los recursos totales en agua dulce natural del mundo y de cada zona del mismo están determinados relativamente por fuerzas hidrológicas. Sin embargo, esos recursos se usan cada vez más como consecuencia del continuo crecimiento de la población y de la expansión de las industrias. A lo largo de muchos ríos importantes de los países muy desarrollados se emplea el agua dulce una y otra vez durante su viaje desde las montañas hacia el mar. Cada uso modifica las cualidades del líquido, por lo general en perjuicio de los usuarios posteriores y de la fauna y flora acuática. Existe un límite para los productos de desecho que una corriente o un lago pueden asimilar sin consecuencias graves para el bienestar físico, mental y social del hombre; en muchos casos se ha llegado a este límite o se lo ha sobrepasado.

Casi todos los países desarrollados se preocupan cada vez más por el constante aumento de la introducción de materiales químicos y radioactivos en el agua con efectos carcinogénicos, tóxicos y fisiológicos.

A pesar de la complejidad creciente de la contaminación microquímica del agua, todavía reviste importancia el aspecto biológico. Aun surgen brotes de fiebre tifoidea transportados por agua cuando los factores epidemiológicos favorables coinciden con suministros de líquido que se han sometido a un tratamiento deficiente. El elevado ritmo de transporte y la gran resistencia a la cloración de los enterovirus son dos factores muy destacados en las afecciones virales de una época en que las enfermedades bacterianas entéricas van disminuyendo. La tasa de transporte de enterovirus entre los niños menores de 15 años es por término medio del 10% en los Estados Unidos y es de esperar que resulte mucho mayor en los países menos desarrollados. Apenas se sabe nada de las tasas de transporte de la hepatitis infecciosa, pero quizá sean elevadas donde el saneamiento del medio resulte deficiente. La incidencia relativamente alta de esta enfermedad, el creciente número de brotes transportados por agua y la aparición de epidemias que se relacionan con los mariscos recogidos en aguas contaminadas, confirman esta creencia.

Los nemátodos, protozoarios y rotíferos en estado libre son los grupos principales de la fase zoológica del tratamiento aeróbico de las aguas negras; todos ellos se presentan en gran número en el efluente. Cuando el efluente se une

a una corriente natural de agua (por ejemplo, un arroyo), éste recibe los virus, bacterias y zoomicrobios que transporta aquél. En la planta de tratamiento, los zoomicrobios se nutren principalmente de las bacterias que prosperan en las partículas orgánicas en suspensión. Se ha comprobado que los nemátodos recuperados de filtros que goteaban y de instalaciones de sedimentación primaria albergan en su intestino pequeñas colonias de E. coli y estreptococos. Los elementos patógenos pueden sobrevivir uno o dos días dentro de los nemátodos. En épocas de grandes epidemias, muchas personas descargan gérmenes patógenos en las aguas negras y estos nemátodos pueden servirles de portadores.

Otros zoomicrobios, especialmente los ciliados flotantes, se alimentan activamente de bacterias en suspensión, entre ellas organismos Salmonella y Shigella, pero parecen ser incapaces de ingerir virus que son demasiado pequeños para que los arrastren los cilios. Las bacterias ingeridas se digieren con tal rapidez que el problema del vector, si es que existen en estos protozoarios, resulta muy remoto.

La mayor parte de la contaminación biológica puede eliminarse por los métodos tradicionales de purificación del agua, pero en muchos países en desarrollo el líquido de que dispone la población no siempre es sano. Según estadísticas reunidas por la OMS, sólo un 20% de la población del mundo tiene acceso a suministros de agua conducida por tubería y, si se excluyen los países muy desarrollados, sólo un 5% de la población restante disfruta de este avance.

Además de la degradación química y biológica de las aguas de superficie y subterráneas, tiene que prestarse gran atención a los contaminantes físicos, entre los cuales los más importantes son el calor y la radiactividad.

La alta temperatura de las aguas de superficie va acompañada de pérdidas de aire, con la consiguiente desaparición del oxígeno disuelto, lo cual tiene un pronunciado efecto en la flora y la fauna acuáticas. No sólo se reduce el contenido de oxígeno, sino que aumenta el ritmo de su consumo para los procesos metabólicos; de aquí que el calor contribuya a duplicar la desoxigenación de las aguas de superficie. La contaminación térmica también resulta perjudicial porque interfiere en el aprovechamiento posterior por las industrias y municipios.

No sólo hay que considerar la contaminación del agua dulce. Por ejemplo, los peces emigrantes (tales como el salmón) viajan del mar por los estuarios, a los cursos de agua dulce. En muchos países industriales existen grandes ciudades

y fábricas en las orillas de los estuarios, por lo que éstos se encuentran mucho más contaminados que los ríos que desembocan por ellos. Así sucede en el Reino Unido, donde se han destruido importantes pesquerías de salmón porque los estuarios se han hecho impasables para los salmones adultos y jóvenes, aunque los ríos que desembocan en esos estuarios estén relativamente poco contaminados.

Contaminación química del agua

Fuentes de los contaminantes

Los contaminantes químicos que llegan a las aguas de superficie y subterráneas lo hacen por tres vectores principales: 1) los residuos y aguas de desecho de comunidades que tienen y no tienen alcantarillado; 2) los residuos y aguas de desecho de las industrias que no están conectadas a las redes de alcantarillado; y 3) el escurrimiento superficial y las filtraciones subterráneas del agua lluvia que captan los sistemas de drenaje de las zonas urbanas y rurales.

En los núcleos urbanos que tienen alcantarillado, los hogares e instituciones son los principales aportadores de detergentes sintéticos usados, y las industrias en menor grado. En cambio, las industrias son los aportadores principales de otras sustancias sintéticas orgánicas, como productos de desecho de su propia fabricación o como líquidos usados en otros procesos de manufacturación. La descarga en el agua varía de tipo y concentración según la naturaleza de la industria y las condiciones de la fabricación. La concentración, y en el caso de sustancias no persistentes, la naturaleza y concentración de los productos intermedios y finales de su descomposición suelen modificarse por el tratamiento de las aguas negras antes de que el efluente llegue a un río o lago. Así, pues, la clase e intensidad de las operaciones de limpieza reviste importancia en la racionalización química del agua.

En los núcleos urbanos que no tienen alcantarillado y que descargan sus desechos en el suelo o quizá en la tierra y de allí a los ríos o lagos, las aguas subterráneas y los suministros de superficie pueden estar también contaminados. Donde el agua se extrae por bombeo del suelo y el líquido sobrante vuelve a él a través de instalaciones próximas de lixiviación, la constitución y concentración de las sustancias químicas usadas puede permanecer casi inalterada.

/...

Las industrias que consumen grandes cantidades de agua para sus procesos de fabricación o para refrigeración están situadas a menudo en la orilla de importantes corrientes. Como existe comunicación directa entre la toma y descarga del agua a través de la fábrica, hay más oportunidades de que la corriente reciba desechos químicos inalterados, ya sea deliberadamente o por accidente.

El escurrimiento y las filtraciones de agua de lluvia en las zonas urbanas parecen tener importancia en las ciudades modernas, sobre todo cuando el porcentaje de precipitación y su duración son tales que rebosan cantidades apreciables de aguas negras y lavaduras de las redes combinadas de alcantarillado en aguas que de otra forma se encuentran protegidas de la contaminación cuando el tiempo es seco o llueve poco. Entonces pueden entrar grandes cantidades de materias químicas de desecho en las corrientes de agua y desplazarse corriente abajo en "movimiento de émbolo" o flotar en los lagos, estanques y embalses como residuos muy concentrados de contaminantes antes de su dilución final por dispersión.

Apenas sabemos nada de la contaminación química por escurrimiento o filtración, pero debemos suponer que estos flujos intermitentes contienen suspensiones y lixiviados de sustancias que se añaden a terrenos, campos y bosques cultivados.

Naturaleza y concentración de los contaminantes

Debido a que el transporte accidental o deliberado por agua de sustancias de desecho es parte de la civilización actual, que tiene características hidrológicas e hidráulicas acentuadas, las aguas con que el hombre y los animales apagan su sed posiblemente contendrán, en uno u otro momento y en uno u otro lugar, toda clase de materias químicas que el ser humano extrae de la naturaleza o sintetiza para usarlas. Así, pues, el grado de contaminación con sustancias químicas y el tamaño de la población expuesta determinan la magnitud del peligro que se crea. La composición de la población y las posibilidades de eliminar, modificar o destruir los contaminantes químicos por procesos ordinarios o especiales de tratamiento son asimismo determinantes significativos, aunque menores.

Detergentes sintéticos. Que las sustancias químicas orgánicas sintéticas llegan efectivamente a las aguas de superficie y subterráneas y pueden hacerlo en concentración apreciable, ha quedado bien demostrado por las feas espumas que cubren los ríos, estanques y lagos y surgen de manantiales y pozos. Como los persistentes

detergentes aniónicos, que son casi por completo responsables de estos signos visibles de contaminación del agua, no son tóxicos en el sentido práctico - si bien no se ha documentado del todo la información acerca de los efectos a largo plazo cuando los ingiere el hombre -, la acción administrativa contra su uso se basa especialmente en motivos estéticos. No obstante, en el abastecimiento de agua las virtudes de gusto al paladar y a la vista, aunque secundarias a la toxicidad, no son factores que puedan despreciarse a la ligera. También ofrece interés la inclusión en las fórmulas de los detergentes de las llamadas sustancias de refuerzo, que contienen, entre otras cosas, fosfatos condensados como agentes secuestrantes. Estos tampoco son tóxicos, pero constituyen elementos clave de la eutroficación de los lagos y otras masas profundas de agua. Al proporcionar nutrientes esenciales a las algas, diatomeas y otros organismos del plancton, los fosfatos aumentan el número e intensidad de las floraciones o crecimientos repentinos de estos organismos. Se forman espumas feas y malolientes que impiden el disfrute del baño en esas aguas. Además, dificultan la producción de cantidades adecuadas de agua potable de sabor agradable.

Identificación de los productos químicos orgánicos sintéticos en el agua. Con algunas excepciones, no se conocen bien los peligros tóxicos de las sustancias sintéticas modernas que llegan hasta el agua potable; tampoco podemos prever si se llegarán a adquirir pronto los conocimientos necesarios hasta que sea posible identificar la naturaleza y concentración de los contaminantes que pueden dar lugar a preocupación.

Aplicando la técnica de extracción por carbón y cloroformo, que implica el paso de casi 20.000 litros de agua de río por un filtro de carbón seguido de la extracción de los materiales en adsorción por el cloroformo, ha sido posible establecer una gradación de las aguas de los ríos de los Estados Unidos, clasificándolas desde relativamente limpias hasta muy contaminadas por desechos industriales. Como ejemplo de leve contaminación por los usos domésticos se puede citar el río Columbia, en el embalse de Bonneville (Oregón), con 24 partes de ECC (extracto de carbón-cloroformo) por 1.000 millones; como ejemplo de contaminación industrial intensa se señaló el río Kanawha, en Winfield (West Virginia), con 457 partes de ECC por 1.000 millones. Además, en el ECC pudo comprobarse la presencia de DDT, aldrina, ortocloronitrobenceno, tetralina, naftaleno, cloroetilo,

/...

éter, acetofenona, éter difenilo, piridina y otras bases de nitrógeno; fenoles de varias clases, nitrilos, materiales acídicos, hidrocarburos varios, incluso compuestos de benceno con keroseno, detergentes sintéticos, aldehidos, ketonas y alcoholes. Se sabe que algunas de estas sustancias son tóxicas; otros muchos compuestos, que indudablemente están presentes han quedado sin identificar. Desde entonces, la aplicación de métodos cromatográficos y espectrofotométricos han facilitado el análisis. Ha sido posible identificar en las aguas de río insecticidas cicrados representativos, en concentraciones de menos de 10 partes por 1.000 millones, mediante muestreo por filtros de carbón, cromatografía de adsorción y espectrofotometría de rayos infrarrojos.

Acumulación de contaminantes. Tiene gran significación que los métodos actuales de tratamiento de las aguas negras dejen sin modificar muchos productos químicos disueltos. En consecuencia, la concentración de contaminantes aumenta a medida que vuelve a usarse el agua. Por lo tanto, los núcleos urbanos situados aguas abajo se ven expuestos a concentraciones y variedades cada vez mayores de contaminantes químicos. Por ejemplo, en comparación con las cifras de los ríos Columbia y Kanawha, el río Detroit, intensamente contaminado cerca de Wyandotte (Michigan) y el río Merrimack en Lawrence (Massachusetts) dieron respectivamente 465 y 743 partes de EEC por 1.000 millones. En Chanute (Kansas) el agua de desecho recirculada en un embalse del río Kaw, que estaba seco gran parte del tiempo, contenía 992 partes de EEC por 1.000 millones de ECC.

Los plaguicidas en el agua. Se ha encontrado DDT en varios ríos importantes de los Estados Unidos en concentraciones de 1 a 20 partes por 1.000 millones. Los plaguicidas que se aplican a la vegetación o al suelo para combatir las plagas de la agricultura entran en parte en las plantas o permanecen sobre ellas como residuo; en parte se volatilizan o se fijan en el suelo; en parte se degradan o quedan inalterados, y por último, en parte son lixiviados del suelo por el agua lluvia o de riego y aparecen como escurrimiento o filtración. El transporte y la degradación varían según el producto químico y los contactos que sufre. Se ha trabajado mucho para descubrir el destino de los plaguicidas en beneficio del usuario del producto, pero muy poco en cambio, para racionalizar la calidad del agua. Hay que realizar nuevas investigaciones para comprobar el significado de

la posible amenaza que representan los plaguicidas químicos para el suministro de agua. Sin embargo, es evidente que el uso difundido de estos plaguicidas ha creado un nuevo problema de contaminación del agua, que no puede resolverse de la misma forma que se hizo en el pasado con los problemas relacionados con la descarga de aguas negras y desechos industriales. La utilidad económica de los insecticidas es tan grande que debe esperarse que lleguen a los sistemas de suministro de agua cantidades crecientes de esas sustancias químicas sintéticas. En consecuencia, debemos estar preparados para eliminarlos cuando aparezcan en concentración significativa. No obstante, la tendencia en la actualidad es a evitar dificultades fabricando plaguicidas menos estables para su uso en la agricultura.

Carcinógenos. Por lo general, los productos del petróleo y los desechos de las refinerías figuran entre las sustancias que posiblemente originan mutaciones y cánceres. Ya se ha sugerido que hay aguas de superficie en las que descargan desechos las instalaciones industriales que contienen sustancias de esta naturaleza. Se ha comunicado que se recuperaron diversos hidrocarburos policíclicos aromáticos en sedimentos de aguas negras, y entre ellos los conocidos carcinógenos 3,4-benzopireno y 1,2-benzantraceno. Se sospecha que los efluentes de las fábricas de gas, el escurrimiento de las carreteras macadamizadas y el hollín atmosférico precipitado del aire por la lluvia introducen estas sustancias químicas en las aguas negras. Los amino compuestos aromáticos carcinogénicos, tales como la betanaftilamina y la bencidina, tienen su origen en las fábricas de colorantes y de caucho y pueden llegar hasta el alcantarillado público junto con sustancias nitrogenadas análogas empleadas para producir amino compuestos, tales como los colorantes aminoazóicos, los aminoestilbenos y los colorantes tri y difenilmetano. Las fábricas de productos farmacéuticos, plantas de teñido de textiles e instalaciones de producción de plásticos e industrias conexas son otras fuentes de estas sustancias orgánicas. Algunos de los productos intermedios, tales como el ortocloronitrobenceno, se han encontrado en cantidades apreciables en el río Misisipi. Pueden ser bastante estables; por ejemplo, el cloronitrobenceno que se descarga en San Luis (Misuri) se encontraba todavía en muestras de agua tomadas en Nueva Orleans (Luisiana), a cientos de millas de distancia y muchos días de curso.

Por lo tanto, la conclusión es que hay motivos para sospechar la presencia de compuestos posiblemente peligrosos en las aguas contaminadas, y que el consumo prolongado del agua de fuentes contaminadas durante la vida humana aumentará la carga normal de carcinógenos de todo origen. A falta de métodos seguros de análisis de los compuestos peligrosos, debemos recurrir a estudios epidemiológicos en perfil temporal de las poblaciones expuestas al contacto para obtener la prueba necesaria, que por desgracia en este caso sólo es fortuita. Las decisiones definitivas sobre las condiciones y grado de exposición de las poblaciones deben basarse en informaciones obtenidas de estudios cuidadosos del destino de los contaminantes químicos pertinentes.

Normas toxicológicas

Respecto de los nuevos productos químicos orgánicos sintéticos, es necesario hacer con urgencia un estudio detallado del propio ser humano en relación con la ingestión de cantidades relativamente pequeñas de sustancias quizá peligrosas durante un período prolongado. Las informaciones basadas en ensayos biológicos por medio de diversos organismos acuáticos, tal como se realizan en la actualidad, no son aplicables directamente al hombre. Por ejemplo, los peces pueden absorber y liberar sustancias tóxicas sin metabolizarlas necesariamente. Los accidentes, que son tan útiles para identificar el nivel de toxicidad aguda en la industria, no nos proporcionarían muchos datos sobre el envenenamiento crónico. Los métodos actuales para investigar la toxicidad crónica en animales de experimentación se suelen aplicar a grupos relativamente pequeños, si se los compara con el tamaño de las poblaciones humanas que podrían estar expuestas. Por lo tanto, los efectos con baja incidencia continúan sin determinar. Además, no puede esperarse que los estudios en animales reflejen por completo los efectos de las sustancias tóxicas en el ser humano. El sinergismo y los efectos aditivos de los agentes tóxicos también son posibles, y deben estudiarse.

En tales circunstancias, quizá se podría presentar la información tomada de la experiencia en la higiene industrial, sobre todo cuando los datos toxicológicos en que se han basado las normas de la industria incluyen experimentos de alimentación de animales y observaciones de las reacciones al riesgo de poblaciones de bastante importancia numérica.

En la actualidad muchas autoridades de sanidad opinan que no debe establecerse ningún grado admisible de concentración para los carcinógenos conocidos entre los nuevos productos químicos.

Productos alimenticios acuáticos

Los peces y mariscos constituyen casi los únicos alimentos que el hombre toma de las aguas naturales. Los vertebrados son sensibles a una amplia variedad de sustancias químicas orgánicas. Por lo tanto, en los ensayos biológicos se emplean especies convenientes para detectar la contaminación química. Como el efecto más probable de esta contaminación en el agua es la muerte de los peces observados, el peligro se reconoce con facilidad. Sin embargo, es posible que los peces y otros seres acuáticos que come el ser humano resulten inmunes a sustancias sumamente venenosas para el hombre. Por ejemplo, una "epidemia" de una enfermedad neurológica se atribuyó al consumo de peces que habían acumulado compuestos alquilmercúricos procedentes del efluente de una fábrica que vertía en zonas pesqueras marinas. Este posible peligro señala la necesidad que hay de mantener los efluentes industriales alejados de las fuentes de alimentos humanos.

Problemas actuales

Detergentes sintéticos y sus residuos

El historial de la contaminación por detergentes podría servir como ejemplo de las consecuencias que tiene el introducir un nuevo tipo de contaminante microquímico en el medio acuático, y de las medidas que deben adoptarse para corregir las molestias que ocasiona. Las mezclas de detergentes domésticos que empezaron a venderse en gran escala hace unos quince años contenían como elemento esencial un sulfonato alquilbencénico (molécula que incluye un núcleo de benceno al que se ha adherido un grupo de sulfonato sódico y una cadena alquil que suele tener ocho o más átomos de carbono). Cuando se emplearon estos materiales por primera vez, la cadena alquil estaba ramificada, circunstancia que revistió después excepcional importancia, aunque su significado no se observó cuando los materiales se lanzaron al mercado.

Pronto se vio que este tipo de material activo en la superficie era excepcionalmente resistente a la descomposición por la acción de las bacterias. En este sentido era muy distinto de los jabones a los que sustituía, ya que éstos se descomponen con rapidez y no crean ninguna dificultad especial en las aguas a las que son descargados finalmente.

Por su resistencia al ataque de las bacterias, las primeras formas de sulfonato alquilbencénico sólo se descomponían en parte durante el tratamiento de las aguas negras y alrededor de la mitad de la cantidad presente al principio quedaba en el efluente. Una propiedad característica de estas sustancias es que reducen el ritmo con el que el oxígeno pasa del estado gaseoso a solución en un líquido. Como la purificación de las aguas negras por la acción de las bacterias es básicamente un proceso aeróbico, es muy importante que el oxígeno se disuelva bien y se necesitan métodos costosos de aireación para lograrlo. Así, pues, al interferir este proceso, los residuos detergentes aumentaba mucho el costo del tratamiento de las aguas negras. Si no se añadía una instalación de aireación, la calidad del efluente tratado empeoraba mucho.

Sin embargo, aun no teniendo en cuenta este hecho, los residuos depositados en las aguas de superficie también perjudicaban su calidad. Son muy conocidas las feas espumas que se formaban en muchos ríos, especialmente en la parte baja de tramos turbulentos. Otro efecto, menos evidente pero igualmente importante, era que el ritmo de disolución del oxígeno del aire en las aguas superficiales se reducía, haciendo así más lentos los procesos de purificación espontánea más abajo de los puntos de descarga de los efluentes. Además, algunos investigadores han afirmado que los residuos de detergentes perjudican a las plantas y animales acuáticos. Esto quizá suceda donde los residuos se encuentran en concentraciones excesivamente altas.

Después de largas discusiones técnicas sobre los posibles métodos para afrontar estas dificultades, se llegó a la conclusión de que la medida más práctica (y quizá la única) es crear sustitutivos de la forma original de material activo superficial que pueden atacar mejor las bacterias. Esto sirvió para que los fabricantes hicieran multitud de investigaciones. Se han ensayado centenares de materiales experimentales y puede afirmarse que se está alcanzando el objetivo de producir en gran escala sustancias que se puedan degradar en su totalidad o en gran parte*

* Un gran porcentaje de los detergentes sintéticos fabricados en 1966 son degradables en su mayor parte. No se sabe si estas sustancias son más o menos tóxicas que los detergentes sintéticos anteriores. Uno de los estudios sugiere que las sustancias o los productos de su degradación, son más tóxicos para los peces que los detergentes sintéticos antiguos.

Una clave de la dirección que debe seguirse fue la comprobación de que si la cadena lateral alquil de átomos de carbono era recta y no ramificada, se reducía mucho la resistencia a la descomposición por las bacterias. Este breve historial se presenta como antecedente del problema más reciente que plantea el uso cada vez más difundido de otras sustancias orgánicas sintéticas, especialmente de los plaguicidas.

Otras sustancias orgánicas sintéticas

La presencia de otras sustancias orgánicas sintéticas persistentes en las aguas negras sólo puede constituir un riesgo para la salud en los casos en que los efluentes lleguen hasta fuentes de las que se toma después el agua para uso doméstico o municipal. Desde luego, se supone, que el agua de tales fuentes contaminadas sería tratada adecuadamente y desinfectada antes de distribuirla. Donde se ha procedido así, las pruebas son de que las aguas tratadas no perjudican la salud del hombre. Por ejemplo, en el Reino Unido, donde parte del suministro de agua de Londres se toma de ríos que han recibido efluentes de aguas negras, y parte de pozos profundos, las estadísticas sanitarias presentadas por el Registrador General no han revelado hasta ahora diferencias significativas entre los índices sanitarios de los núcleos urbanos que reciben líquido de los dos orígenes. Es posible que si la concentración de estas sustancias orgánicas biológicamente resistentes aumenta en las aguas para el suministro público, lo hace en el mismo grado en que la concentración del efluente aumenta en el suministro.

Sin embargo, ha habido un aumento más rápido (por lo menos en los países industrializados) de las cantidades de materiales orgánicos persistentes que entran en los sistemas de distribución de aguas procedentes de procesos industriales de todas clases (por ejemplo, de las industrias químicas y del petróleo). Se han identificado algunas de estas sustancias por medio de técnicas modernas muy perfeccionadas. Por lo menos, la presencia de algunos de estos contaminantes en el agua de uso doméstico es indudablemente poco conveniente. En muchos casos, se dispone de un medio técnico de eliminación, a saber: la aplicación de los métodos de tratamiento existentes o la creación de otros nuevos para eliminar los compuestos de los efluentes industriales correspondientes antes de su descarga.

Volviendo a los plaguicidas orgánicos sintéticos, gran parte de las investigaciones de sus efectos ambientales secundarios se han realizado en los Estados Unidos. En otros países (por ejemplo, el Reino Unido) el uso de plaguicidas y la tasa de mortalidad consiguiente en la fauna silvestre están claramente a un nivel muy inferior. Aun así, el Reino Unido puede señalar pérdidas perceptibles de aves. Muchas de las pérdidas de fauna silvestre que se pueden atribuir a los plaguicidas no se refieren lógicamente a los medios acuáticos. Sin embargo, con referencia específica a éstos, los datos de los Estados Unidos demuestran que diversos organismos han sufrido daños significativos. Tenemos que depender principalmente de estas pruebas para predecir cuáles serán las consecuencias en otros países donde se están empleando cantidades crecientes de plaguicidas orgánicos sintéticos.

En primer lugar, se han encontrado residuos de estas sustancias en concentraciones de 0,1 a 5 partes por 1.000 millones en las principales cuencas hidrográficas de los Estados Unidos. Tales concentraciones son pequeñas, pero sus efectos son de largo alcance. Por ejemplo, la toxicidad directa de algunos plaguicidas para los peces es muy grande, como lo demuestra el hecho de que en cuatro días la mitad de una muestra de truchas había muerto a consecuencia de la endrina en concentraciones de 0,5 partes por 10^9 únicamente.

En segundo lugar, está bien demostrado que los plaguicidas presentes en pequeñas cantidades en el agua pueden concentrarse muchas veces en los organismos acuáticos, incluidos las algas, y que el grado de concentración puede aumentar así de uno a otro eslabón de la cadena alimentaria. Por lo tanto, aunque los peces quizá no mueran a niveles más bajos de tal contaminación microquímica, sus cuerpos pueden contener suficientes residuos de plaguicidas para que la ingestión de muchos cause lesiones o la muerte a las aves que se alimentan de ellos. A este respecto, es muy significativo el hecho de que en el Reino Unido (donde a pesar de observaciones e investigaciones periódicas ningún caso de muerte colectiva de peces en las aguas superficiales se ha atribuido hasta ahora a los plaguicidas, salvo en muy pocas ocasiones por causas anormales, tales como descargas accidentales) la primera indicación de que podría estar gestándose una situación grave fue el hallazgo de altas concentraciones de residuos en aves ictiófagas.

En los Estados Unidos hay muchas pruebas fortuitas de que en algunas regiones las pesquerías están gravemente amenazadas por peligros que originan los plaguicidas. Por ejemplo, se sabe que en el Estado de Nueva York la reproducción de truchas ha disminuido mucho en la época en que los alevines absorbían la yema del huevo (en la que se había acumulado DDT). En otras zonas ha habido una enorme mortandad de peces inmediatamente después de rociar los campos con plaguicidas mediante aviones. A veces han ocurrido mortandades después de la primera lluvia siguiente al rociado, y en Georgia los ensayos han demostrado la toxicidad de las aguas de escurrimiento de una zona rociada. La evaluación durante largo tiempo de los resultados del rociado aéreo de los bosques para combatir el gusano de las yemas en los abetos de las cuencas de muchos importantes ríos salmoníferos de Nueva Brunswick (Canadá) han proporcionado mucha información sobre las consecuencias en los organismos acuáticos. En la mayoría de las operaciones de rociado realizadas entre 1954 y 1960, se aplicó DDT en proporción de 1/2 libra por acre. Después del tratamiento, la fauna de insectos acuáticos disminuía mucho y su aparición cesaba por períodos hasta de seis semanas. Se encontró que las especies de mayor tamaño que habitan en el fondo, que constituyen el alimento preferido de los salmoncillos mayores^{1/}, necesitaban largos períodos para restablecerse cualitativamente - los perla bicaudata necesitaron por lo menos dos años, los ephemera vulga tres años y los phriganea pilosa, cuatro años. Sólo después de cuatro a cinco años sin nuevos rociados regresó la composición por especies de los insectos acuáticos a su estructura normal. En cuanto al perjuicio directo a los peces, los salmones jóvenes de todos los grupos de tamaños disminuyeron mucho de número después del rociado; los menores de dos años bajaron de 2% a 10% de su proporción anterior. Los salmoncillos pequeños se redujeron al 30% y los mayores al 50% de la cifra anterior al rociado, y el ritmo de crecimiento de los supervivientes quedó perjudicado por la citada perturbación de sus fuentes de alimentos. Desde 1960 se ha aplicado extensamente

^{1/} La mayor parte del salmón joven de Nueva Brunswick pasa tres años en los ríos emigrando hacia el mar; puede clasificarse en tres grandes grupos comparables en general a cada año de vida, a saber: menores de un año, salmoncillos pequeños y salmoncillos mayores.

el DDT, en proporción de 1/4 de libra por acre. Cada aplicación con esta dosis ha originado mortandades de peces apreciablemente menores y los ensayos recientes con el insecticida sistemático "Phosphamidon", en dosis de 1/2 libra por acre, indican que es un sustitutivo prometedor del DDT, pues causa daños insignificantes a las poblaciones de peces y no tiene efectos demostrables en los insectos acuáticos tres semanas después del rociado.

El empleo de métodos muy sensibles de análisis químicos para investigar recientes mortandades de peces en el curso bajo del Misisipi ha demostrado que la concentración de endrina en la sangre era suficientemente alta para matarlos. Y lo que es más sorprendente, ahora se comunica que los peces del mar (aún en aguas relativamente abiertas del océano) están acusando concentraciones detectables de residuos de plaguicidas. En la práctica, algunas de las pruebas más sorprendentes de la acumulación de estos residuos provienen del examen de peces del mar y de los estuarios y de aves marinas que se alimentan de ellos. Uno de los ejemplos más antiguos y mejor conocidos del grado en que tales residuos pueden acumularse en las aves ictiófagas corresponde al Lago Clear, en California (Estados Unidos). En 1954, y de nuevo en 1957, se trató este lago con DDT en concentración de dos partes por 10^8 para combatir el cínife chaoborus astictopus; después de la segunda aplicación, se detectaron productos de la descomposición de este compuesto a razón de 1.600 partes por 10^6 en los tejidos grasos de colimbo occidentales encontrados muertos. Hace poco se han obtenido cifras de concentración de DDE y dieldrina en los huevos de aves ictiofagas británicas que se alimentan en aguas a las que nunca se han aplicado directamente compuestos orgánicos sintéticos para combatir plagas. Como ejemplos de los niveles hallados, de 8 a 28 partes por 10^6 de DDE y de dieldrina combinados se encontraron en los huevos de garzas (ardea cinerea) y de 1,6 a 3,2 en los de golondrinas de mar (sterna hirundo).

Peligros a largo plazo de la contaminación del agua

Las normas para el agua potable son muy distintas de las normas para el aire en los contactos debidos a la ocupación; en el agua, se reduce a un mínimo el número de sustancias cuyos límites se regulan, porque la promulgación de una norma equivale a organizar comprobaciones analíticas periódicas para asegurar su cumplimiento, lo que es imposible cuando se incluyen cientos de sustancias. Sin embargo,

/...

en la contaminación del agua se usan dos recursos reguladores, que evitan el efectuar comprobaciones para una gran cantidad de sustancias aisladas:

1. Uso de concentraciones limitativas de sustancias indicadoras, por ejemplo, el sulfonato alquil benzénico, como índice para los contaminantes detergentes sintéticos, para el doble uso del agua y para el nivel general de contaminación.
2. Uso de análisis de grupo, por ejemplo el total de sólidos disueltos (TDS) y las sustancias que pueden extraerse mediante cloroformo de los filtros de carbón (CCE) como índices de la contaminación química inorgánica y orgánica, respectivamente. Así, mediante un análisis sencillo se obtiene un índice del total de minerales disueltos o del total de contaminación orgánica existente.

En los climas cálidos es de esperar que haya un consumo diario de agua potable mucho mayor que en los países templados, y se pueden ingerir hasta cinco veces más cantidades de contaminantes transmitidos por el agua. Por lo tanto, la población de los climas mencionados en primer lugar puede ingerir hasta cinco veces más contaminantes de esta clase que la de los últimos, aunque las concentraciones en el agua potable sea igual. La mayor parte de los trabajos efectuados para establecer las normas vigentes se basan sobre el consumo en climas templados, y, por lo tanto, hay que establecer criterios que permitan su aplicación en zonas más cálidas. Existen mecanismos importantes que producen sinergismos a través de las vías respiratorias y que no actúan en el conducto gastrointestinal; un ejemplo es la absorción de gases y vapores en materiales formados por partículas. El efecto aparentemente intensificante de las combinaciones de microorganismos y contaminantes en los pulmones no parece tener importancia en el conducto gastrointestinal. Sin embargo, igual que en el pulmón, también existe la acción más rápida de los carcinógenos por los elementos estimuladores y aceleradores.

Algunos profanos y a los hombres de ciencia les preocupa indudablemente que el hombre ingiera contaminantes en los alimentos y en el agua, que pueden tener ahora o en el futuro efectos perjudiciales para la salud. Señalan que la industria produce muchas sustancias nuevas que se introducen deliberada o involuntariamente en los alimentos y al agua, y temen que estas sustancias se hayan introducido sin haber determinado bien los posibles riesgos para la salud.

Los alimentos pueden ser desde el punto de vista cuantitativo una fuente de contaminantes más importante que el agua. El examen que figura a continuación

/...

versará sobre los contaminantes del agua, pero en cualquier estudio de los efectos que tienen los contaminantes ingeridos en la salud, no se puede excluir el papel que desempeñan los alimentos.

Tal como se presenta en la naturaleza, el agua siempre es una solución acuosa diluida de sustancias orgánicas e inorgánicas. Se considera que el agua potable es una solución incolora y clara, sin olor ni gusto desagradables, que contiene no más de 1.500 mg/l de sólidos totales y no más de ciertas cantidades fijadas de determinados contaminantes (OMS: Normas internacionales para el agua potable - 1963). Además de las normas de pureza química, el agua potable debe también ajustarse a algunas otras de pureza microbiológica.

Sin embargo, no todos los posibles contaminantes del agua están identificados en las Normas internacionales, y existen muchos para los cuales no se han fijado límites de seguridad. Por lo tanto, el agua que se ajusta a las Normas internacionales puede ser peligrosa y tener a largo plazo efectos perjudiciales para la salud. Sin embargo, no existen pruebas científicas que indiquen que esos efectos perjudiciales ya se han producido. Sólo queda el temor de que puedan aparecer en el futuro.

El número de contaminantes inorgánicos en el agua es menor que el de contaminantes orgánicos. Los contaminantes inorgánicos más importantes han sido identificados en las Normas internacionales para el agua potable y se han recomendado límites de seguridad para ellos.

Elementos metálicos presentes en el agua

En determinados lugares se pueden presentar ocasionalmente otros contaminantes minerales, además de los que están incluidos en las citadas Normas internacionales. Hay cincuenta metales que revisten especial interés en relación con la exposición causada por las actividades industriales. Los metales del tipo que representan el plomo y el mercurio son los más importantes, pero otros muchos, tales como el arsénico, berilio, cadmio, manganeso, cromo, níquel y vanadio, han ido adquiriendo cada vez más importancia toxicológica. En el cuadro 3 hay una lista de algunos contaminantes del agua que quizá tengan efectos a largo plazo.

A la población en general le preocupa la exposición debida a las actividades industriales menos que la exposición a través de los alimentos, el agua y el aire

CUADRO III

ALGUNOS CONTAMINANTES DEL AGUA CON POSIBLES EFECTOS A LARGO PLAZO
(es una lista incompleta)

Elementos o sustancias	Sustancias indicadoras
Arsénico (As), sobre todo AsO_3	Sulfonatos alquil benzénicos, ABS (índice de contaminación por todos los detergentes sintéticos)
Bario (Ba)	Extracto de cloroformo y carbono, CCE (incluye la mayoría de los compuestos orgánicos, entre ellos los carcinógenos y plaguicidas orgánicos)
Cadmio (Cd)	Fenol (incluidos los fenoles, cresoles y homólogos)
Cloro (Cl_2) (con productos de reacción de los contaminantes orgánicos puede tener un efecto tóxico)	Sólidos totales disueltos, TDS (incluyen los minerales que contribuyen a la "dureza")
Cromo (CrO_3)	Radiación beta bruta (como índice de la mezcla de radioisótopos, cuando no hay estroncio-90 ni materiales emisores de rayos alfa)
Fluoruro (F)	
Plomo (Pb)	
Mercurio (Hg)	
Nitrato (NO_3)	
Selenio (SeO_2 y SeO_3)	
Vanadio (V)	

urbano contaminados. Esta exposición no suele ser suficiente para causar condiciones tóxicas claramente demostrables. Sin embargo, el resultado es que una serie de sustancias se depositan en el cuerpo. Es posible demostrar no sólo la presencia de sustancias vitales para el organismo, tales como el cobre, cobalto, molibdeno, manganeso y zinc, sino también de otras posiblemente tóxicas, tales como el cadmio, cromo, vanadio, níquel y plomo. Ciertas sustancias tienen una especificidad orgánica, mientras que otras se suelen distribuir de una manera uniforme en el cuerpo. Algunas sustancias varían notablemente según la edad. La cantidad total de cromo disminuye al envejecer, mientras que la de aluminio en los pulmones y de cadmio en el hígado y los riñones aumenta.

La contaminación del agua debida al mercurio se presentó en las aguas costeras del Japón como consecuencia de la eliminación de desechos industriales. Esta contaminación originó indirectamente enfermedades y muertes en el hombre por haber consumido peces recogidos en esas aguas. Los peces habían absorbido del agua, mercurio suficiente para convertirse en alimentos tóxicos. No se sabe si el agua hubiera resultado también tóxica, pues no se la usó como bebida. Este hecho subraya que los contaminantes del agua pueden llegar al hombre formando parte de los alimentos que se han desarrollado en el líquido contaminado.

En los últimos años se ha sugerido la posibilidad de que ciertos metales que se suelen encontrar concentrados en el cuerpo pueden contribuir al desarrollo de enfermedades crónicas. La hipótesis sostiene que algunos metales esenciales forman complejos; por ejemplo, el hierro y el cobalto en los quelatos de porfirina, hemo y vitamina B₁₂. Es posible que otros metales puedan competir con un metal esencial por un enlace químico en una metaloenzima. La administración de un metal puede crear así una deficiencia real de otro. El cadmio y el mercurio, acumulados en los riñones y testículos, por ejemplo, pueden desplazar al zinc debido a su quelación con compuestos que normalmente quelan con el zinc. Esto sólo constituye un ejemplo, pues se pueden considerar otros mecanismos. La posible toxicidad de los metales trazadores se planteó en relación con la nefropatía endémica en Bulgaria, Yugoslavia y Rumania.

Los estudios epidemiológicos realizados en el Japón, Estados Unidos, Inglaterra y Suecia han demostrado que existen tasas de mortalidad más altas debidas a enfermedades cerebrovasculares y cardiovasculares, entre las personas que viven en zonas de aguas blandas que entre las que viven en zonas de aguas duras. La cantidad de

calcio presente en el agua potable sólo constituye un pequeño porcentaje de la que se ingiere en los alimentos. El calcio del agua quizá pueda correlacionarse con otras sustancias, por ejemplo, elementos trazadores o componentes orgánicos. Es necesario ampliar los estudios epidemiológicos y ensayar en laboratorio las distintas sustancias (por ejemplo, el magnesio) que pueden proporcionar conocimientos más completos acerca de este problema.

Plaguicidas presentes en el agua

Los plaguicidas constituyen otra clase de contaminantes del agua que tiene gran interés. Forman un grupo de contaminantes peligrosos, no sólo para las personas que están expuestas a ellos debido a su ocupación, sino también probablemente para la población en general; los plaguicidas pueden presentarse en el agua, el suelo, los alimentos (incluidos la leche, las frutas y los peces que viven en aguas contaminadas) y el aire, especialmente en zonas rurales y donde se los usa mucho en actividades agrícolas.

Los plaguicidas más comunes hoy son compuestos orgánicos de cierta complejidad, a pesar de que también se siguen empleando los que se basan en el arsénico, plomo y mercurio. Estas sustancias llegan a las fuentes de agua directamente como consecuencia de su empleo deliberado para controlar las plagas en el agua, involuntariamente en el escurrimiento de las zonas agrícolas, como resultado de una pulverización descuidada desde aviones sobre campos adyacentes, como resultado de la eliminación de desechos industriales y por el trasvase de aguas de superficie y subterráneas.

Los efectos tóxicos debidos a la ingestión de plaguicidas orgánicos se conocen bien. Los efectos tóxicos agudos y subagudos para muchos animales, y en algunos casos para el hombre también se conocen. Si el plaguicida va a usarse en materias agrícolas sin elaborar, los efectos tóxicos crónicos se habrán evaluado en ratas y quizá en perros, mediante la adición de la sustancia a la dieta por períodos hasta de dos años, o basándose en la demostración de que el plaguicida se metaboliza en uno o más productos diferentes, cuya toxicidad crónica se conoce. Esta información - que incluirá habitualmente el nivel de ingestión alimentaria que no produce efectos perjudiciales para la salud durante el período de alimentación - suele preceder a la determinación del residuo máximo admisible en las materias agrícolas sin elaborar.

Aunque se conocen los efectos tóxicos agudos de los plaguicidas sobre el hombre se dispone de pocos ejemplos de los efectos tóxicos crónicos.

La publicación de FAO/OMS titulada "Evaluación de la toxicidad de los Residuos de plaguicidas en los alimentos" analiza la toxicidad de los más importantes.

Hasta ahora no se ha demostrado que tenga efectos perjudiciales la ingestión de cantidades muy pequeñas de plaguicidas en el agua. Por no haberse realizado experimentos directos en seres humanos, hay que basarse en los ensayos con animales de laboratorio. La naturaleza de los experimentos variará según la práctica de los diferentes países, pero los principios básicos se han establecido en OMS, "Serie de Informes Técnicos, No. 144" (Métodos de ensayo toxicológico de los aditivos alimentarios). En general, tales investigaciones suponen alimentar a ratas, y en algunos países a perros, con plaguicida como parte de la dieta durante dos años. Se alimenta a los animales según distintos niveles dietéticos y se selecciona la dosificación más baja, de forma que los que la reciben durante los dos años no acusan efectos perjudiciales discernibles. Los dos años abarcan la mayor parte de la vida de la rata.

Los resultados de muchos experimentos efectuados con animales han llevado a las siguientes conclusiones:

1. Los efectos tóxicos crónicos de los plaguicidas disminuyen al reducirse la dosis.
2. Se puede encontrar una dosificación baja, pero mensurable, que - a lo largo de la vida de la rata y durante dos años de la vida del perro - no produzca efectos tóxicos apreciables tal como se miden por el crecimiento, comportamiento, vida, reproducción y valores bioquímicos y hematológicos, y por medio de exámenes patológicos macro y microscópicos.

Esos niveles bajos reciben el nombre de niveles "indiferentes", y en los Estados Unidos la tolerancia residual a un plaguicida de productos agrícolas sin elaborar debe deducirse de un nivel de indiferencia demostrado, por aplicación de un factor de seguridad, habitualmente del orden de 100, establecido teniendo en cuenta que el hombre puede ser más sensible a los plaguicidas que los animales de laboratorio.

Se puede alegar que las conclusiones basadas en experimentos con animales, no son aplicables al hombre. Sin embargo, los efectos de las drogas en el ser humano siguen las mismas directrices que se deducen de los experimentos con animales, en

el sentido de que los efectos disminuyen cuando la dosis se reduce, y que desaparecen con una dosificación pequeña pero finita. El método empleado por la Food and Drug Administration de los Estados Unidos para establecer niveles residuales de seguridad aplicables a los plaguicidas en los alimentos, se basó en ensayos con animales, y hasta ahora no hay ninguna prueba de que haya conducido a conclusiones erróneas.

Los efectos crónicos de los plaguicidas en el hombre se conocerían mucho mejor si hubiera alguna manera de estudiarlos directamente en el ser humano. Sin embargo, los experimentos directos de la clase necesaria para obtener la información más pertinente se rechazan por múltiples razones.

El riesgo de exposición a los plaguicidas es general. Por ejemplo, están sujetas a él las personas que los fabrican, así como las que los formulan y los usan con regularidad. Los habitantes de zonas donde se usan plaguicidas regularmente o de lugares cercanos a ellas, pueden estar expuestos sin saberlo. Así, se han observado síntomas de sensibilización gastrointestinal, respiratoria, nerviosa y oftálmica en personas que viven en zonas contaminadas.

III. Contaminación del suelo

Su magnitud y su significado para la salud

Existen fuentes domésticas, industriales y agrícolas que originan residuos sólidos. Para las basuras domésticas, la cantidad per cápita varía considerablemente de un país a otro, según el grado de desarrollo económico y la complejidad de las formas de vida. Por ejemplo, en la zona metropolitana de los Angeles la cantidad de basura doméstica sólida llegó en 1962 a los 1.400 g. diarios per cápita tal como se recogía y a unos 760 g. diarios per capita de peso en seco. Por el contrario, el aumento total de sólidos entre el suministro de agua y el sistema de recogida de aguas negras era inferior a 200 g. diarios per cápita (peso en seco). Por lo tanto, esta zona metropolitana elimina un peso en seco de sólidos tres veces mayor que el de líquidos. El costo anual de funcionamiento de la recogida y eliminación de basuras sólidas es unas tres veces mayor que el del manejo de desperdicios líquidos.

Las basuras sólidas de origen doméstico pueden incinerarse, usarse como abonos, llevarse a vertederos, enterrarse o echarse al mar. Cada uno de estos procedimientos plantea problemas para la salud pública. La incineración y conversión en abonos

elimina los desperdicios orgánicos solamente, pero no la parte inorgánica y las cenizas. La incineración, aunque se efectúe en los incineradores más eficientes, contamina el aire, especialmente con óxidos de nitrógeno. El aprovechamiento como abono o su traslado a vertederos puede aumentar la cantidad de moscas, ratas y otros vectores de enfermedades. Los desperdicios orgánicos enterrados sufren la descomposición aneróbica y la producción de metano y de bióxido de carbono puede ocasionar la contaminación de las aguas de superficie. Si las basuras se arrojan al mar pueden aparecer restos flotantes o contaminarse las playas.

Los desperdicios sólidos de origen industrial tienen consecuencias económicas importantes, pero no suelen constituir un peligro directo para la salud. Desde luego, existen excepciones. Se plantean graves problemas cuando los desperdicios industriales sólidos se incineran o arden espontáneamente, contribuyendo así a la contaminación del aire, o son arrastrados por la lluvia y contaminan las aguas de superficie y subterráneas. La minería del carbón a cielo abierto, la formación de montañas de escoria y los residuos de las minas son ejemplos de cómo los desperdicios sólidos de origen industrial estropean la tierra y la inutilizan para otros muchos usos ulteriores. La necesidad de eliminar los desechos radiactivos de los reactores y de otros aparatos de investigación nuclear enterrando los cuerpos sólidos en la tierra o en el mar origina otros problemas importantes.

Los desperdicios sólidos de origen agrícola no deberían contaminar el ambiente, pues el material vegetal vuelve normalmente al suelo. Sin embargo, la concentración de estos desechos en los lugares de trasbordo y donde se los envasa, empaqueta o elabora ha creado un problema. La gran acumulación de restos orgánicos en estos lugares puede descomponerse, lixiviarse con el agua de lluvia, atraer vectores de enfermedades, etc., provocando la contaminación del ambiente.

Contaminación química del suelo

La contaminación química del suelo es consecuencia de la aparición no intencionada e incidental de productos químicos artificiales. Los contaminantes pueden llegar al hombre a través del agua subterránea, del escurrimiento o drenaje de aguas y de los vegetales utilizados como alimento o forraje de los animales domésticos - y en menor grado de los animales salvajes - que se comen. Por lo tanto, los contaminantes deben ser solubles en agua y penetrar en la humedad del suelo o

en el agua que se filtra a través de él. Las plantas pueden obtener la humedad que necesitan de cualquiera de estas fuentes. Las aves pueden recoger las semillas contaminadas con plagicidas y resultar perjudicadas, y el ganado puede ingerir residuos insolubles existentes en las plantas.

El suelo de buena calidad contiene muchas sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua; son resultado de la meteorización y descomposición de minerales y de la desintegración de materias orgánicas. Estas sustancias se oxidan normalmente por la acción de las bacterias, constituyendo principalmente óxidos inorgánicos, pero algunos compuestos orgánicos que llegan a aguas subterráneas libres de oxígeno pueden no oxidarse por completo. El humus se puede encontrar incluso en las mejores aguas, junto con pequeñas cantidades de los llamados elementos trazadores. En la naturaleza, el suelo recibe alguno de sus componentes del aire (por ejemplo, el yoduro de los pequeños núcleos en forma de gotita generados por el mar) y de residuos debidos a la quema de combustibles fósiles.

Los abonos se usan para reforzar el suelo con objeto de cultivarlo, pero incidentalmente pueden contaminarlo con sus impurezas. El riego de campos y huertas puede originar ese fenómeno si la fuente del agua está contaminada por desperdicios industriales que contienen productos químicos orgánicos y sintéticos.

Durante los últimos decenios los herbicidas, insecticidas, fungicidas, acondicionadores del suelo y productos fumigantes han originado alteraciones deliberadas en los terrenos destinados a la agricultura, horticultura y silvicultura. Los productos químicos aplicados pueden contaminar accidentalmente el agua del terreno.

El suelo debe considerarse como una "comunidad" viva de hongos, bacterias, protozoos y metazoos. Los productos destinados a acondicionar y fumigar el suelo son inestables, y los microorganismos del suelo se alimentan de ellos. Por ejemplo, incluso los derivados clorados del fenol (tales como los ácidos policlorofenoxiacílicos que se usan para combatir las malas hierbas) son consumidos por cepas especiales de bacterias que se adaptan para usarlos como alimentos. Lo mismo sucede con el DNOC (dinitroortocresil) y compuestos conexos. Debe añadirse que la flora de bacterias y hongos del suelo es mucho más abundante que la flora de los cursos de agua, incluso cuando éstos se han contaminado por materias orgánicas. Por lo tanto, es posible que los compuestos químicos que pueden permanecer inalterados durante mucho tiempo en el agua, se desintegren con más rapidez en el suelo a causa de la actividad

de las bacterias. Por ejemplo, se sabe que si se "alimenta" el suelo con productos químicos tales como los fenoles, se multiplicarán las bacterias que se desarrollan basándose en los fenoles naturales.

Los experimentos con nuevas drogas antibacteriológicas demuestran que algunas bacterias crean una resistencia efectiva a las nuevas sustancias. Las enzimas metabólicas sufren los cambios necesarios para quitar la toxicidad a los compuestos; en esos casos, hablamos de formación de enzimas adaptables. Mediante estos mecanismos desaparecen los productos químicos del suelo, y todos los años hay que rociar las tierras de cultivo con herbicidas, para combatir el crecimiento de las malas hierbas.

Desde el punto de vista ideal, sólo deben emplearse los productos químicos que se ha comprobado que pueden ser atacados y desintegrados con rapidez por los microorganismos corrientes del suelo. Es mucho más probable que los compuestos de plomo y mercurio - los últimos son en su mayoría compuestos orgánicos - y las sales de ácidos arseniosos se acumulen y contaminen persistentemente el suelo y que introduzcan plomo, mercurio y arsénico en los productos vegetales.

La tendencia actual en la fabricación de plaguicidas para la agricultura es a sintetizar compuestos degenerables de vida corta, ya que así se reduce al mínimo la persistencia de los residuos y de sus elementos de degeneración en las cosechas comestibles y forrajeras.

Los únicos plaguicidas orgánicos en uso que resisten la desintegración bacteriológica y que no tienen productos finales inertes, son los hidrocarburos clorados; por ejemplo, DDT, lindano, aldrina y dieldrina. Parece ser que las partículas del suelo formadas por minerales inorgánicos revestidos de compuestos orgánicos asocian o adsorben los restos de estos plaguicidas estables. Estos productos químicos pueden contaminar las cosechas de tuberosas obtenidas en suelos de tal clase; por ejemplo, el lindano puede dañar a las zanahorias y remolachas. No merece la pena ocuparse del comportamiento de los productos químicos que no afectan la calidad ni reducen el rendimiento de los cultivos, pero no es probable que en la práctica normal haya casos de absorción e incorporación de estos contaminantes a las plantas.

En cambio se ha demostrado que las filtraciones de agua procedentes de suelos contaminados por hidrocarburos clorados contienen pequeñas cantidades de esas sustancias. Es probable que los capte el humus que contiene lípidos y pasen a formar parte del agua del suelo. Es posible, pero todavía no se ha demostrado que el hombre absorba tales sustancias al beber el agua tomada de esos suelos.

La presencia de estas sustancias se ha comprobado extrayéndolas del agua mediante disolventes orgánicos potentes; las cantidades recuperadas son del orden de unos microgramos por litro. No es probable que estos volúmenes constituyan un peligro tóxico para el hombre.

La observación de la contaminación de las tierras cultivables situadas en las cercanías de las fábricas de productos químicos indica que existe el posible peligro de que caigan productos del humo que arrojan las chimeneas de esas fábricas. Sin embargo, estos sólo pueden ser contaminantes inorgánicos. Las chimeneas que funcionan bien destruyen los productos químicos orgánicos sintéticos.

Mientras que los desperdicios gaseosos pasan a formar parte de la atmósfera y los desperdicios líquidos suelen caer en las aguas de superficie, los desperdicios sólidos se sedimentan sobre el suelo o se introducen en él. Algunos desperdicios sólidos caen en las aguas de superficie, originando su contaminación y algunos otros son incinerados, convirtiéndose muchos de los sólidos en desperdicios gaseosos; por lo contrario, algunos desperdicios líquidos se desparraman sobre el suelo y unos cuantos se introducen en los estratos subterráneos. Por lo tanto, la tierra recibirá la mayoría de los desperdicios sólidos y algunos contaminantes líquidos.

Proyectos de investigación

Generalidades

Las investigaciones sobre contaminación del ambiente deben incluir la investigación pura y aplicada. Se necesitan especialmente investigaciones acerca de la aplicación de principios bien conocidos a situaciones concretas, especialmente en los países en desarrollo.

La contaminación parece ser consecuencia inevitable de la tecnología industrial moderna, los transportes rápidos y cómodos y las viviendas confortables, pero en un grado excesivo puede perjudicar la salud del hombre y su bienestar mental, social y económico. Por lo tanto, el problema consiste en determinar cuál es el nivel aceptable de contaminación, es decir, el que permite un desarrollo económico y social óptimo sin traer consigo peligros para la salud en su sentido más amplio. Esto puede conseguirse aplicando de una manera sistemática los conocimientos existentes, complementados con los resultados de proyectos de investigación bien elegidos.

En relación con los productos químicos sintéticos orgánicos más modernos, es urgente estudiar al propio ser humano cuando ingiere cantidades relativamente pequeñas de sustancias quizá peligrosas durante un largo período. La información basada en ensayos biológicos que se están realizando con diversos organismos acuáticos no se puede aplicar directamente al hombre. Así, por ejemplo, los peces pueden absorber y eliminar sustancias tóxicas sin tener que metabolizarlas. Los accidentes que tan útiles son para determinar los niveles de toxicidad intensa en la industria, no proporcionan necesariamente mucha información sobre la intoxicación crónica. Los actuales métodos para determinar la toxicidad crónica mediante animales de laboratorio se suelen aplicar a grupos que son relativamente pequeños en comparación con el tamaño de las poblaciones humanas que tienen probabilidad de verse expuestas a los contaminantes. De esta manera quedarían sin descubrir los efectos de la baja incidencia. Además, no se espera que los estudios realizados en animales reflejen bien los efectos de las sustancias tóxicas en el ser humano. Hay posibilidad de sinergismo y de efectos aditivos de los tóxicos, por lo que tienen que estudiarse.

En estas circunstancias, quizá sea posible aprovechar la información adquirida con la experiencia en la higiene industrial, sobre todo cuando los datos

toxicológicos en que se han basado las normas industriales incluyen pruebas de alimentación de animales, así como observaciones de la reacción de poblaciones numerosas al riesgo de absorción de tóxicos.

Debieran iniciarse estudios epidemiológicos en grupos de personas expuestas por su ocupación a contactos con tóxicos o de personas que viven en zonas muy expuestas a ellos, con objeto de determinar los signos subjetivos y objetivos de los efectos tóxicos crónicos. Entre estos trabajos debiera incluirse la medición de las concentraciones de plaguicidas y metabolitos en los tejidos de que se disponga, tales como muestras tisulares y material obtenido en autopsias de los hospitales. Estas concentraciones deben correlacionarse con los cambios de la actividad enzimática y de las funciones oftálmica, auditiva, nerviosa, muscular y respiratoria y en especial con las concentraciones observadas en tejidos que estén relacionados con efectos (o falta de efectos) en los animales de laboratorio.

Aunque según los conocimientos actuales, la acumulación de plaguicidas en los tejidos humanos cesa cuando las cantidades depositadas son relativamente pequeñas, podrían iniciarse investigaciones epidemiológicas prospectivas sobre las enfermedades causadas por anomalías en el metabolismo de los hidratos de carbono ó de los lípidos, sobre la diatesis hemorrágica coagulante y sobre las perturbaciones en el metabolismo de proteínas o minerales en grupos de personas muy expuestas al contacto con plaguicidas. Para tales estudios serían necesarios grupos de control adecuados.

Investigación de la mutagenicidad y carcinogénesis en relación con la contaminación del aire, agua y alimentos.

Mutagenicidad

La mutagenicidad puede tener efectos significativos a largo plazo para la salud, por lo menos en tres formas:

La mutación de las células somáticas puede originar la aparición de nuevos tipos de células (aunque no malignas) que difieren de lo normal. Si tales células son menos efectivas funcionalmente o interfieren en la integridad del órgano, dichas mutaciones representan una forma de patología.

Muchos hombres de ciencia consideran la mutación de las células somáticas como el mecanismo por el cual las células normales se convierten en malignas.

Cuando se producen mutaciones no letales en las células reproductoras del organismo paterno o materno, las generaciones sucesivas pueden acusar defectos genéticos. Esta consecuencia es excepcionalmente importante cuando se trata de grandes poblaciones afectadas por contaminantes del ambiente que están muy diseminados. Cada mutágeno químico podría aportar su contribución a las mutaciones, sumándola a las producidas por otras causas. Por lo tanto, las consecuencias genéticas de todos los factores mutacionales deben determinarse conjuntamente.

Muchos agentes químicos pueden producir efectos mutagénicos en uno u otro sistema biológico. Sin embargo, esto no implica que esas sustancias originen mutaciones significativamente frecuentes en condiciones reales de exposición a ellas.

Son particularmente activos como mutágenos algunos de los agentes de alquilación, algunos de los llamados "antimetabolitos" y otros productos químicos relacionados por su estructura con las bases del ácido nucléico. Es posible que muchos compuestos capaces de modificar el ácido nucléico den lugar a mutaciones, pero todavía permitiendo la duplicación. En un informe anterior de la OMS (Wld Hlth Org. Techn. Rep. Ser., 248) se da una lista de mutágenos químicos, incluidos los que puede haber en el ambiente en que se mueve el hombre. En ese informe se discute el problema con más amplitud.

Es posible comprobar fácilmente la mutagenicidad de agentes químicos en sistemas sencillos, tales como fagocitos y bacterias. No obstante, como la entrada, transporte y metabolización en el organismo son probablemente factores importantes para determinar la dosis efectiva del mutágeno, tales pruebas mínimas deben ratificarse estudiando tales factores bioquímicos en organismos superiores, antes de atreverse a estimar la probabilidad de riesgo. Además, algunas materias que no son mutagénicas en sí pueden convertirse en mutágenos durante la metabolización. Por estos motivos la evaluación de contaminantes posiblemente mutagénicos debe hacerse extensiva a los mamíferos.

Indudablemente habrá que hacer estudios de las poblaciones. Sin embargo, esos estudios serán difícilísimos por el problema que plantea la determinación cuantitativa de los efectos producidos en generaciones sucesivas, y sobre todo por la extremada dificultad de definir la exposición real de los progenitores a los múltiples factores mutagénicos.

Carcinogénesis

El amplio y bien documentado historial de la exposición a agentes tóxicos en la ocupación, desde el deshollinador de chimeneas al operario que fabrica productos químicos de cromo, ha demostrado la realidad y gravedad de las consecuencias del contacto con carcinógenos químicos. Casi todos los órganos del cuerpo humano pueden engendrar un tumor como reacción al agente químico pertinente. Aunque el tejido que reacciona es a veces el que está directamente expuesto, como el pulmón en el caso de productos químicos a base de cromo o la piel con el alquitrán de hulla, en otras ocasiones el tumor se forma en un órgano alejado. Un ejemplo lo constituye el cáncer de la vejiga como consecuencia de la exposición a ciertas aminas aromáticas, cuyas principales vías de entrada son la piel y los pulmones. Los efectos de las diversas vías de entrada de los carcinógenos químicos son frecuentemente aditivos, por lo que hay que estudiar toda la combinación de exposiciones por el agua, aire y alimentos. La cosa se complica porque la carcinogénesis por agentes químicos suele ser consecuencia de la acción recíproca de diversos factores, siendo un ejemplo especialmente pertinente el caso clásico del mecanismo difásico de producción del cáncer cutáneo. En él, una dosis de hidrocarburo polinuclear, que por sí mismo no es capaz de producir cáncer, origina con suma frecuencia cáncer cutáneo cuando va seguida de la aplicación del estimulante aceite de crotón, que por sí mismo tampoco tiene efecto carcinogénico. Otros factores modificadores son una enfermedad anterior (como cáncer por escara en el pulmón) o una infección (virus de la gripe y gasolina ozonizada). En algunos casos, el contacto simultáneo con otros agentes tóxicos puede reducir la capacidad para eliminar un agente carcinogénico. Ejemplo de esto es la lesión del mecanismo de limpieza de las vías respiratorias causada por el humo del tabaco. En resumen, la determinación de las exposiciones carcinogénicas efectivas requiere que no sólo se tomen en consideración los múltiples orígenes, sino también el papel de los factores estimuladores.

La información más decisiva sobre los peligros del cáncer provocado químicamente en el hombre se ha obtenido en estudios epidemiológicos realizados en grupos de ocupaciones. Los estudios en grupos expuestos a contaminantes generales de la colectividad no han dado resultados tan concluyentes. Por eso todavía es incierto el papel que los hidrocarburos polinucleares, como el benzo (a) pireno, desempeñan como contaminantes del aire en la producción del cáncer del pulmón. Aunque hay

algunas pruebas de una reducida intervención de estas causas en el cáncer pulmonar, la cuestión no se puede resolver por ahora. Algunos otros contaminantes del aire han atraído atención a este respecto, entre ellos los compuestos orgánicos no aromáticos. El papel del benzo (a) pireno como contaminante del ambiente ha llamado mucho la atención; esta sustancia se ha encontrado no sólo como contaminante del aire, sino también en los alimentos ahumados y en los suelos y se sabe que llega por varias vías a las redes de suministro de agua. Aunque su presencia cuantitativa en tales lugares es interesante, los resultados obtenidos no se pueden interpretar por falta de datos sobre la forma en que pueden afectar al hombre las concentraciones observadas. La solución de estos problemas exigirá estudios epidemiológicos y de laboratorio.

Los estudios epidemiológicos han proporcionado información sobre diferencias significativas en los índices de tumores observados en diversos órganos y en diferentes grupos de población. Tales indicios pueden orientar la búsqueda de factores etiológicos si esta información inicial queda corroborada estudiando la evolución de historiales pertinentes de exposición a contactos con esas sustancias.

Los métodos de laboratorio constituyen un complemento útil de los estudios epidemiológicos para identificar factores causales. Tales procedimientos revisten excepcional importancia como medio para predecir la probabilidad del cáncer debido a nuevas materias antes de usarlas. Un éxito espectacular de estas pruebas de pronóstico fue el descubrimiento de que el compuesto acetilaminofluoreno, que había sido propuesto para insecticida, es un potente carcinógeno. Sin embargo, a pesar de estos éxitos todavía distan mucho de ser satisfactorios los métodos disponibles, ya sea desde el punto de vista de la certeza de los resultados o de la comodidad de su aplicación. La mayoría de los sistemas aceptados para pruebas de pronóstico requieren el examen de grupos moderadamente grandes de diversas especies animales durante toda su vida o gran parte de ella.

Hay varios factores que limitan la utilidad de tales pruebas de pronóstico. Primero, se ha demostrado que las diferencias inherentes a la especie son decisivas en muchos casos para establecer la respuesta de los tumores. Las diferencias en la metabolización del carcinógeno originan diferencias de reacción, y quizá no resulte suficiente usar simplemente más especies. Por lo tanto, las pruebas en animales de laboratorio deben ser corroboradas siempre con estudios paralelos del metabolismo humano.

/...

Segundo, incluso los grupos más grandes que pueden emplearse en la mayoría de los estudios prácticos de laboratorio serán mucho más pequeños que los sectores de población expuestos al contacto. Así, pues, hay que hacer una extrapolación de niveles altos a bajos de incidencia. Por una parte, resulta defícil establecer niveles seguros si no existen principios generales para tal extrapolación y, por otra, el método basado en la hipótesis que no existe umbral de riesgo quizá sea demasiado conservador. Por lo tanto, para ayudar a establecer niveles seguros hay que hacer algunos experimentos en gran escala (en los que intervengan grandes grupos de animales) que contribuyan a definir los principios generales que se aplicarán en dicha extrapolación.

Tercero, en muchos casos existen factores secundarios como los enumerados (enfermedades, lesiones, etc.) que pueden ser decisivos para determinar el riesgo. Aunque lógicamente es imposible examinar de una manera sistemática las múltiples variables posibles, estas consideraciones deben tenerse presentes al proyectar trabajos experimentales. Resultan así dos sugerencias. Conviene fomentar el ensayo de mezclas análogas a las que aparecen en la realidad, además de las sustancias puras. Siempre que sea posible, también deben tenerse en cuenta en la planificación de esos estudios los indicios de determinados factores que actúan conjuntamente como estimuladores.

Se han propuesto gran número de pruebas a corto plazo para comprobar la carcinógeneses de sustancias sospechosas. Entre ellas figuran la supresión de la glándula sebácea, la hipertrofia del nucleolo, las diversas reacciones en sistemas simples (como cultivos de tejidos, mohos del lino y paramecium) y ensayos bioquímicos, tales como la acción recíproca con el ácido nucleico. Estas pruebas han sido útiles para estudiar la actividad comparada de compuestos de tipo químico análogo. Sin embargo, todas ellas han fallado al aplicarlas a una gran variedad de estructuras químicas.

Además, estas pruebas no tienen en cuenta los mecanismos del tratamiento bioquímico que pueden determinar con precisión crítica la dosis efectiva. Entre estos mecanismos figuran la eficiencia de entrada, almacenamiento y metabolización. Los estudios metabólicos en seres humanos constituyen un requisito mínimo para corroborar la interpretación de los resultados de esas pruebas rápidas.

Contaminación del aire

Métodos para investigar la contaminación del aire

a) Estudios experimentales. Muchos investigadores dan prioridad a la preparación de métodos rápidos y sencillos para obtener índices válidos de contaminación, que puedan usarse en estudios epidemiológicos o de otra clase. De estos métodos, algunos no son suficientemente específicos y su empleo puede conducir a conclusiones erróneas. Los métodos para evaluar la contaminación por partículas mediante la densidad óptica de la mancha producida en papel de filtro requieren la recalibración frecuente según las características gravimétricas. Conviene disponer de instrumentos para registrar la concentración de contaminantes a intervalos frecuentes, con objeto de determinar el efecto de los aumentos bruscos del nivel de contaminación. Como algunas plantas y animales inferiores son más sensibles que el ser humano a las concentraciones bajas de ciertos contaminantes del aire, es posible emplearlos como "indicadores biológicos", es decir, como medios baratos y exactos complementarios o alternativos de los instrumentos de medida complejos. Hay que reconocer el peligro de aplicar al bienestar del hombre sin crítica los resultados de los indicadores biológicos.

La investigación en que seres humanos se exponen por su propia voluntad a concentraciones de contaminantes urbanos iguales a las que se encuentran en la realidad, tanto aislados como en mezclas, es lógicamente preferible a experimentos en los que se somete a animales a contactos masivos. Aunque resulta útil la investigación de los efectos producidos por exposiciones como las de la realidad sobre diversos aspectos de la función pulmonar, deben fomentarse los experimentos de otros posibles efectos; por ejemplo, quizá sea útil investigar los efectos en la flora bacteriana de los muchos gases y partículas contaminantes que existen en el aire de los núcleos urbanos.

b) Estudios sobre el terreno. Los estudios de esta clase pueden proporcionar la indicación más convincente de la asociación entre la mortalidad o morbilidad y la contaminación del aire. Sin embargo para que sean satisfactorios hay que contar con índices exactos de salud y de contaminación doméstica e industrial. Por lo tanto, sólo se pueden realizar en colectividades que dispongan de medios para construir tales índices.

- i) Indices de contaminación. Aunque para proyectos concretos de investigación pueden tener que medirse muchos contaminantes diferentes, para el uso rutinario deben elegirse ciertos parámetros mediante acuerdos nacionales o con preferencia internacionales. Además hay que adoptar técnicas normalizadas de medición. Una vez que se disponga de parámetros y métodos normalizados, será posible recomendar procedimientos de muestreo para zonas de distinta naturaleza, tales como centros comerciales de las ciudades, sectores de industria ligera o pesada, zonas residenciales con distinta densidad de viviendas y zonas en que se apliquen rígidamente las normas de regulación de humos. Al decidir los procedimientos también debe tenerse en cuenta la topografía y la ventilación natural de cada zona. Se cree que los resultados permitirán comparaciones entre zonas de distinta naturaleza.
- ii) Indices de mortalidad y morbilidad. Hay que elegir con sumo cuidado índices de mortalidad y morbilidad. Algunos elementos de la colectividad, tales como obreros, soldados, policías y, en muchos países, niños, tienen muy buena salud y por lo tanto, pueden ser excepcionalmente resistentes a los efectos de la contaminación del aire. En las grandes urbes se ha comprobado que son muy sensibles índices tales como los basados en el total de defunciones de la población, ingreso en hospitales o solicitudes de prestaciones por enfermedad. En cambio, en las colectividades más pequeñas puede haber fluctuaciones aleatorias que enmascaren esos efectos y quizá haya que usar otros métodos. En tales circunstancias, parece que las técnicas más prometedoras son los estudios diarios, tales como los del Grupo de investigación sobre contaminación del aire del Consejo de Investigaciones Médicas, o índices basados en los datos recogidos por los médicos de medicina general después de la primera entrevista con pacientes afectados de enfermedades respiratorias agudas. Sin embargo, en algunos núcleos urbanos la población puede ser demasiado pequeña para realizar estudios satisfactorios sobre el terreno.
- iii) Efectos a largo plazo de la contaminación. Se reconoce en general que los efectos a largo plazo de la contaminación en el hombre son más importantes que las reacciones agudas. Las investigaciones epidemiológicas de este problema implican comparaciones entre diferentes colectividades por lo que resulta difícil, si no imposible, excluir los efectos de otros factores. Por lo tanto, al aprovechar los resultados de tales estudios es preciso adoptar una actitud crítica. Se puede aceptar que existe una asociación positiva entre la bronquitis crónica y la

contaminación del aire, pero la asociación entre el cáncer pulmonar y dicha contaminación es menos cierta; además, cualquier grado de asociación parece tenue en comparación con el que existe entre esta enfermedad y el tabaco. En las investigaciones que se hagan en el futuro se deben incluir estudios que permitan correlacionar la incidencia de estas condiciones con las variaciones que puedan producirse en la contaminación del aire.

iv) Efectos inmediatos o agudos de la contaminación del aire. Los efectos inmediatos se investigan mejor con técnicas epidemiológicas, y en la actualidad es posible relacionar cuantitativamente la morbilidad del aparato respiratorio y la mortalidad general con niveles específicos de contaminación del aire en algunas colectividades. Así quizá se puedan hacer comparaciones entre los efectos agudos de la contaminación en distintos núcleos urbanos y entre diversas mezclas de contaminantes en el mismo núcleo.

c) Algunos problemas concretos para estudios sobre el terreno. Entre los problemas concretos que deben aclararse mediante estudios sobre el terreno figura la influencia de los brotes agudos de infecciones respiratorias en el efecto de la contaminación del aire sobre la salud, los efectos sobre la salud de períodos muy cortos de intensa contaminación y un análisis del cambio de prácticas en el empleo de combustibles, especialmente en relación con el funcionamiento de centrales eléctricas muy grandes.

d) Métodos estadísticos y epidemiológicos en los estudios sobre el terreno. La epidemiología y la estadística resultan cada vez más eficaces al tratar las complejidades de los datos y encuestas de la sanidad, y sus posibilidades deben revisarse con regularidad para determinar qué nuevas técnicas, existan que permitan perfeccionar la metodología de los estudios de la contaminación del aire sobre el terreno.

Contaminación del agua

Investigaciones sobre la contaminación del agua

Durante los últimos años la investigación sobre la contaminación del agua se ha ampliado notablemente en muchos países. Esta investigación la realizan diversos laboratorios oficiales, universitarios y privados. Los procedimientos de muestreo, obtención, identificación y estimación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos se revisan y mejoran con frecuencia, y se están ensayando nuevos parámetros para

/...

estimar el grado de contaminación. Se ha intensificado la determinación de los efectos producidos por la contaminación en la calidad del agua mediante el estudio del bentos, planctón y otros organismos acuáticos, así como mediante verificaciones de su reacción fisiológica, bioquímica y ecológica a diversos grados de exposición a contaminantes; estos estudios quizá sirvan también para identificar parámetros biológicos adecuados que permitan una evaluación sencilla del grado de contaminación.

Todavía se están realizando estudios epidemiológicos del significado que tienen para la salud algunos agentes biológicos y sólidos disueltos en el agua contaminada, pero que son eliminados parcialmente por los procesos corrientes de depuración y hasta ahora no se ha podido llegar a conclusiones definitivas. La investigación de métodos perfeccionados para evitar la contaminación incluye estudios sobre el origen de las diversas clases de residuos y la determinación del grado de contaminación causado por el escurrimiento del agua en las ciudades y en el campo. La comprobación de que en muchos casos los procesos mecánicos y biológicos normales no consiguen eliminar ciertos contaminantes y de que hay que suprimir mejor los posibles contaminantes de los residuos líquidos ha conducido a investigaciones para encontrar nuevos métodos de tratamiento y ya se ha acumulado un considerable caudal de experiencia sobre los métodos de separación de multitud de contaminantes químicos, biológicos y radiológicos. En casi todos los casos ha habido que aplicar principios fisicoquímicos conocidos, tales como la adsorción electrodiálisis, intercambio iónico, oxidación, etc. Aunque los resultados de algunos de estos nuevos procesos son halagüeños, su costo continúa siendo un factor restrictivo, excepto para operaciones intermitentes especiales.

En varias revistas científicas e informes se publican con regularidad detalles de esas investigaciones y de cuestiones conexas.

Investigaciones corrientes

Al investigar los efectos de los plaguicidas, la concentración de las sustancias que han de identificarse y determinarse es a menudo muy pequeña (del orden de una parte por cada 10^{11}). La identificación y determinación sólo son posibles mediante el uso de modernos métodos instrumentales, tales como la cromatografía por medio de gases y la espectrofotometría con rayos infrarrojos. Por lo tanto, es indispensable un equipo costoso y los servicios de especialistas capacitados

para utilizarlo. La investigación de los detalles más concretos del problema exigirá métodos todavía más perfeccionados e indudablemente más costosos. Es evidente que en la actualidad hay pocos laboratorios que estén equipados para realizar esta clase de análisis. No obstante, en los últimos años se han logrado rápidos progresos. Como ha aumentado el interés en este problema, es de esperar que la tendencia persista.

En los Estados Unidos se sigue el método realista de considerar la biocenosis^{1/} de distintos habitats y tratar de evaluar los efectos de los plaguicidas en los diversos eslabones de las cadenas alimentarias que representan. Se está estudiando la aplicación de un criterio análogo en el Reino Unido. Sin embargo, hay que señalar que aunque el estudio de la contaminación acuática se ha realizado durante muchos años, este nuevo problema implica una ampliación de las disciplinas requeridas para organizar un equipo bien equilibrado. Así, por ejemplo, si las aves ictiófagas son el primer componente de la cadena alimentaria que resulta afectado de manera significativa, el equipo investigador debe incluir un ornitólogo experimentado. También hay pruebas de que muchas sustancias importantes son adsorbidas en partículas insolubles; es indudable que pueden ser ingeridas por invertebrados que habiten en las aguas del fondo, entrando así en la cadena alimentaria. Por lo tanto, habrá que tomar en consideración el régimen hidráulico de un río que influye en la acumulación de sedimentos y en la erosión del fondo. Las aguas estacionarias (lagos y embalses) requerirán un examen especial, porque la estratificación y sedimentación pueden producir acumulaciones locales de solutos o sustancias sin disolver y porque la dilución es un fenómeno muy lento a medida que aumenta la profundidad.

Está bien demostrado que diferentes organismos (entre ellos los peces) son afectados en distinto grado por los plaguicidas sintéticos orgánicos. Esto complica más el problema y disminuye mucho las ventajas de usar una sola especie como organismo universal de ensayo, mediante el cual puede determinarse el grado de contaminación microquímica de un ambiente y sus efectos ecológicos.

^{1/} Una biocenosis es una unidad ecológica que incluye la población vegetal y animal de un habitat.

La complejidad de los actuales métodos químicos y físicos para identificar y determinar los contaminantes microquímicos ofrece una dificultad especial cuando tienen que realizarse estudios sobre el terreno en regiones remotas. Por eso se está tratando de habilitar otros procedimientos, en especial métodos especializados de ensayo biológico. En esta esfera se han logrado progresos notables. La forma de reaccionar los organismos a concentraciones no mortíferas de venenos varía mucho y los especialistas en este campo creen que existen muchas respuestas biológicas que pueden utilizarse como base para crear dichos métodos. Como ejemplo pueden citarse el crecimiento de las células algáceas, el ritmo respiratorio, la adquisición de reacciones inhibitorias y el grado de fecundidad. Es de esperar que los futuros avances de este tipo no sólo permitan medir el nivel relativo de contaminación microquímica del agua sino también, por lo menos hasta cierto punto, la naturaleza de los contaminantes presentes. Las obras publicadas sugieren que la medición del efecto de las sustancias orgánicas sintéticas en el ritmo de crecimiento de cultivos de algas puede proporcionar información útil. Las investigaciones de esta cuestión se encuentran en una etapa muy activa, y se señala que la normalización prematura de los métodos de ensayo biológicos para los organismos de prueba constituiría un obstáculo, en vez de estimular el progreso. Por último, se ha subrayado que para establecer métodos eficientes con los que descubrir, identificar y observar la contaminación microquímica, es preciso disponer de datos básicos adecuados sobre la ecología de los sistemas hidrográficos correspondientes. Rara vez ocurre así, lo que siempre que las circunstancias lo permitan debe tratarse por todos los medios de reunir este clase de datos.

Otros estudios de epidemiología en el hombre

Se han utilizado muchos datos sobre la sanidad en las ocupaciones y la experiencia adquirida con unas 350 sustancias, para preparar normas de la exposición en las industrias. Esta información puede servir de gran ayuda al elegir los métodos de investigación de la contaminación atmosférica y los criterios para establecer normas de contaminación del aire en los núcleos urbanos. No se deben extrapolar las normas aplicables en la industria a las normas para la atmósfera de los núcleos urbanos porque las poblaciones expuestas a cada riesgo son muy distintas.

Empleo de datos de las ocupaciones para determinar el riesgo de exposición de los núcleos urbanos. Se podrían obtener muchos más datos sobre los efectos a largo plazo de ciertos contaminantes que aparecen en el medio general, y en mayor concentración en el medio de algunos grupos ocupacionales, si se analizaran mejor los registros escritos de estos últimos. Esto requiere una colaboración más estrecha entre el médico de la industria, el ingeniero de higiene industrial, el epidemiólogo y el bioestadístico. Para aprovechar mejor ésta y otras informaciones, se necesita un sistema de registro uniforme, que incluya los cambios de ocupación, la residencia, el período de enfermedad y la causa de defunción. Esto era antes técnicamente imposible en escala nacional, pero quizá no lo sea ahora merced al uso de computadoras. Por lo tanto, se puede estudiar en perspectiva la morbilidad y mortalidad de los grupos que se sabe están expuestos a determinados contaminantes o grupos de contaminantes. La creación de tales registros y el acceso a ellos sería uno de los métodos epidemiológicos más eficaces para el estudio en perspectiva de una serie de problemas médicos.

En los Estados Unidos, los registros de la seguridad social, en cuyo formato no se tuvo presente este objetivo, han resultado útiles para investigar la salud en la ocupación sobre todo en estudios de cohorte. En el Reino Unido, la encuesta de la morbilidad del Ministerio de Pensiones y Seguro Nacional hará posible un estudio nacional de la ocupación y de la residencia, y el establecimiento de relaciones entre varias enfermedades y los índices de contaminación. En algunos países escandinavos se llevan desde hace tiempo detallados registros de población, y en ellos hay datos sobre la morbilidad. Esta situación se presta bien para realizar investigaciones sobre epidemiología.

Uso de los datos disponibles sobre morbilidad en hospitales y clínicas. Los efectos a largo plazo de la contaminación ambiental en el sistema respiratorio se pueden estudiar aprovechando mejor los registros médicos de hospitales y centros de sanidad (departamentos de pacientes internos y ambulatorios), así como los historiales patológicos. Se ha comunicado que hay una mayor incidencia de ciertas enfermedades contagiosas o infecciosas entre los niños y entre la población trabajadora de las zonas donde la contaminación de la atmósfera es mayor. En algunas localidades se pueden obtener más datos sobre la prevalencia de inflamaciones

crónicas de garganta y bronquitis crónica, así como del cor pulmonale, mediante el uso de los registros de admisión de los hospitales y de los historiales de pacientes ambulatorios. Las posibilidades de estas investigaciones no se han aprovechado del todo, y deben estimularse. Se necesitan criterios de diagnóstico más explícitos y uniformes, tanto en los trabajos clínicos como en los patológicos, así como datos más precisos y uniformes sobre la exposición al contaminante (incluido el tipo y el número), la duración y el tipo de la exposición, y datos demográficos y de otra índole sobre la población expuesta al riesgo.

Entre las enfermedades que se deben investigar figuran las afecciones crónicas de garganta, la bronquitis crónica, el asma, el enfisema, la fibrosis pulmonar y el cor pulmonale.

Hay que prestar especial atención a los grupos de población que reciben cuidados médicos especiales, tales como los enfermos cardíacos y enfisematosos, y a los grupos de personas sanas que reciben cuidados preventivos especiales, tales como los escolares, las embarazadas y los atletas. En estos grupos se deben recomendar algunos estudios fisiológicos sencillos como parte de los reconocimientos complementarios de rutina. Más tarde se pueden comparar los resultados de las zonas que tienen diferentes niveles de contaminación.

Esta clase de trabajos será muy útil cuando también se obtengan informaciones adecuadas sobre el medio.

Estudios del comportamiento. Se han realizado muchos trabajos especialmente en la Unión Soviética, sobre los reflejos condicionados y los efectos fisiológicos sensoriales provocados por los contaminantes. Se ha sugerido que probablemente estos procedimientos para determinar los efectos a largo plazo serán limitados. Algunas tentativas para corroborar estos estudios, especialmente en relación con los vapores solventes, indican que los métodos son relativamente poco sensibles. Hay que estudiar más la utilidad de esos procedimientos en las exposiciones prolongadas y breves.

Posibles estudios para determinar los efectos a largo plazo de la contaminación del aire. Debido a la composición compleja y variable de los contaminantes atmosféricos en diferentes lugares, y a los efectos posiblemente importantes del clima, conviene realizar las investigaciones epidemiológicas en mayor escala y en más lugares que antes. Para asegurarse de que los resultados serán informativos y

comparables hay que adoptar ciertas medidas: en primer lugar, describir adecuadamente la exposición; en segundo, proporcionar una medición válida de los efectos médicos basada en una muestra adecuada de la población; y en tercero, aplicar un método satisfactorio de vigilancia.

La investigación debe ser ecológica, es decir, debe basarse en estudios de la exposición y morbilidad dentro de un número grande (cientos) de distritos. Estos distritos se elegirán para que representen la variación máxima de la dosis (exposición) y del clima. El diseño estadístico y las muestras de población pueden proporcionar otros criterios para la selección.

Al elegir los distritos que se investigarán habrá que realizar un estudio preliminar de las variables pertinentes en un número mucho mayor de distritos, sobre todo en relación con las concentraciones de los contaminantes más importantes y con los datos disponibles sobre la estructura de la población.

El segundo problema está relacionado con la medición de los efectos. No siempre es posible realizar reconocimientos médicos detallados de una muestra de la población, y tampoco sería satisfactorio confiar en los datos estadísticos oficiales de la morbilidad y mortalidad. Por lo tanto, hay que preparar un estudio sobre la posibilidad de utilizar cuestionarios por correo para estimar la información pertinente acerca de los síntomas respiratorios y cardiovasculares. Tal método ya ha sido utilizado en algunos países, y merece que se siga examinando.

Si se quiere que un estudio de esta índole resulte práctico, los requisitos sobre la cabalidad de la información de todos los síntomas no deben ser excesivamente rígidos. Se señalan a la atención los cuestionarios de síntomas respiratorios y angina pectoral que usa el Consejo Británico de Investigaciones Médicas, los cuales siguen las normas del cuestionario para estudios sobre el terreno, preparado y unificado por la OMS. Las preguntas deben ajustarse a un modelo del tipo descrito o análogo, prestando la mayor atención posible a la comparabilidad de la evaluación de la exposición y de los efectos.

Será necesario comprobar la validez del método. Esto se puede hacer mediante entrevistas personales y por un sencillo examen clínico de la función pulmonar (volumen expiratorio máximo 1,0) y cálculos de la exposición ambiental de una submuestra limitada de poblaciones y zonas. Los estudios metodológicos deben

iniciarse cuanto antes como operaciones experimentales, así como la capacitación en el uso del cuestionario, posiblemente incluido el empleo de magnetófonos. Tales operaciones experimentales sirven para analizar la variabilidad de uno o de varios observadores y elegir las preguntas y los entrevistadores.

Aunque los métodos descritos permitirán hacer estimaciones adicionales de la prevalencia, para determinar la incidencia, quizá convenga efectuar observaciones en serie de dos tipos. El primero consistirá en repetir la misma encuesta (entrevista por correo o personal) y prueba utilizando exactamente los mismos métodos y entrevistadores o examinadores, a lo cual se agregará, si es posible, la obtención de más datos de los registros de sanidad acerca de los períodos en que una enfermedad respiratoria haya producido invalidez. El procedimiento también proporciona medios de determinar la variabilidad del entrevistador. Otro segundo método complementario consiste en determinar, por comparación con los registros oficiales, el período y la causa de la invalidez, de la jubilación o de la defunción. Estos estudios para determinar la defunción o la jubilación son fastidiosos cuando se efectúan a mano, pero pueden realizarse en computadoras con más facilidad.

Problemas para los que se requieren investigaciones

Contaminación del ambiente en general

Al establecer las directrices de las investigaciones sobre los efectos de la contaminación del ambiente en la salud, se ha dado prioridad a la influencia de la contaminación conjunta del aire y del agua, y, donde correspondía, a la de los alimentos y los suelos.

Hay que hacer esfuerzos mayores y más profundos para relacionar los tipos y cantidades de contaminantes de todas las clases de ambientes con la concentración de los contaminantes y sus metabolitos en los tejidos y flúidos del cuerpo y con los efectos en la salud del hombre y de los animales, mediante el uso de métodos epidemiológicos y de laboratorio.

Hay que encontrar formas mejores de facilitar una extrapolación más segura de los datos de ensayos y de los animales a los efectos de los contaminantes sobre el ser humano.

El problema general de los medios de defensa del organismo contra los contaminantes, especialmente en concentraciones bajas, y los problemas conexos de adaptación deben estudiarse intensamente en los animales y en el hombre.

La función que desempeñan los procesos de absorción, distribución, acumulación y expulsión en la toxicidad de los contaminantes tiene que estudiarse con más amplitud y detalle.

Los investigadores deben prestar más atención a las sustancias que se sospecha contribuyen a producir cánceres, mutaciones o monstruosidades.

Hay que prestar más atención al estudio de los efectos de los contaminantes en el envejecimiento y en la reducción de la duración de la vida.

Debe alentarse a las industrias para que, al crear nuevos productos, no sólo consideren la utilidad y seguridad de su uso, sino también la posibilidad de que contaminen el ambiente después de haber sido usados, y a que, por ejemplo, tengan en cuenta la desintegración biológica de los detergentes y los productos de combustión de los plásticos.

Características de los contaminantes. Las características de los contaminantes del medio deben establecerse con respecto a la atmósfera, para los compuestos orgánicos de azufre y nitrógeno, los hidrocarburos halogenados y otros compuestos halogénicos y los metales y metaloides con posibles efectos sobre la salud; con respecto al agua, las de los plaguicidas y metales y metaloides identificables, y con respecto a los alimentos (y bebidas), las de los plaguicidas y de todo el grupo de metales y metaloides.

Estimación de la carga en el organismo. En muchas zonas geográficas deben realizarse estudios sistemáticos sobre el contenido de metales, plaguicidas y otros contaminantes orgánicos en los tejidos humanos (incluidas la sangre y la orina), prestando especial atención al plomo, cadmio y plaguicidas. Cuando sea posible, se preparará al mismo tiempo un cálculo de la exposición ambiental a estas sustancias en el aire, el agua, los alimentos, el tabaco y la ocupación. Asimismo, se deben tratar de obtener informaciones similares acerca de los animales salvajes y domésticos.

Vigilancia de poblaciones sometidas a intensa exposición. Deben realizarse estudios complementarios controlados y a largo plazo de determinados grupos de población que están expuestos a una contaminación inusitada que puede afectar a

toda la colectividad. Estas exposiciones existen en los grupos ocupacionales y en grupos locales de la población general, tales como los que se ven expuestos a concentraciones altísimas de plomo (por ejemplo, los policías del tránsito), los núcleos cercanos a refinerías de metales, los habitantes de localidades en las que el agua potable contiene mucho cromo, las poblaciones expuestas al ozono de frigoríficos y donde el ozono se usa para combatir olores, los grupos expuestos al mercurio en las fábricas de cloro y álcalis y cerca de ellas, los grupos expuestos al arsénico en las ciudades donde se consume carbón con un elevado contenido arsenical, los grupos expuestos al monóxido de carbono en las ciudades con mucho tráfico de vehículos automotores y los obreros de las siderurgias. El objeto de todos estos estudios debe ser detectar pequeñas desviaciones de la función normal, mediante el empleo de métodos fisiológicos y bioquímicos sencillos, y diferencias de morbilidad y mortalidad.

Estudio de poblaciones con una exposición inusitada a insecticidas. Deben efectuarse estudios epidemiológicos retrospectivos, y sobre todo en perspectiva, de los grupos expuestos a cantidades anormales de hidrocarburos clorados, fosfatos orgánicos y otros plaguicidas. Uno de estos grupos se encuentra en las cercanías de Ferrara (Italia). Estas investigaciones resultarán más útiles si se las coordina con estudios sobre los efectos de los plaguicidas en la fauna de la zona; los estudios deben incluir los posibles efectos crónicos e indirectos de la absorción de tales sustancias. Sería muy conveniente realizar estudios similares en las zonas en que se hace intenso uso de los pesticidas en combinación con programas de lucha contra el paludismo.

Creación de métodos por cuestionarios postales. Hay que estudiar la posibilidad de realizar una encuesta representativa de los síntomas respiratorios y cardíacos (y quizá de los ojos y la piel), mediante el uso de un cuestionario uniforme enviado por correo a muchos grupos de población de diferentes países. Las zonas elegidas deben tener grandes diferencias de contaminación y de clima. También se necesitarán mediciones uniformes de la contaminación, así como un sistema para entrevistar a una muestra de la población con objeto de corroborar la validez del cuestionario enviado por correo y de los historiales de exposición.

Posible relación entre el cor pulmonale y la exposición a los contaminantes.

Deben hacerse nuevas comparaciones internacionales en hospitales determinadcs sobre la proporción de pacientes admitidos con cor pulmonale y su incidencia en la autopsia. Habrá que establecer criterios uniformes para el diagnóstico y las autopsias.

Estudio intensivo de las alergias respiratorias epidémicas. Deben investigarse los casos de contaminación local de la atmósfera que se sospeche están relacionados con epidemias de "alergias respiratorias".

Datos uniformes sobre exposición debida a la ocupación. Para eliminar los efectos a largo plazo de la contaminación (y de todos los demás factores ambientales) en la salud se necesita información constante sobre el individuo y su ambiente durante toda su vida. Debe animarse a los países a que preparen registros uniformes y comparables y los pongan a disposición de los investigadores sanitarios para acumular un acervo de datos sobre ocupación, residencia, enfermedades y defunciones de individuos y de grupos de población.

Unificación de las observaciones

Unificación de los métodos de laboratorio. El establecimiento y unificación de los métodos de investigación en el laboratorio deben abarcar cinco problemas por lo menos: i) un uso más amplio de los nuevos métodos para analizar contaminantes; ii) el desarrollo de modelos matemáticos para calcular las dosis integradas de contaminantes; iii) la comparación de métodos para medir las reacciones fisiológicas y bioquímicas a los contaminantes; iv) el desarrollo de nuevos métodos para medir reacciones, y v) rápidos métodos de selección para identificar los riesgos de la salud asociados con los nuevos contaminantes químicos.

Unificación de los métodos epidemiológicos. Deben crearse centros de referencia para preparar, analizar y unificar métodos epidemiológicos destinados a investigar los efectos a largo plazo de los contaminantes. En primer lugar debe atenderse a la preparación de los cuestionarios, que se usarán en entrevistas o se enviarán por correo para estudiar las reacciones respiratorias a los contaminantes. Esos centros también deben capacitar al personal en el empleo de métodos uniformes, habilitar métodos uniformes para medir la exposición de los grupos de población que se estudien y, mediante contactos con las operaciones sobre el terreno, mantener la comparabilidad de los estudios.

Experimentos con animales

Exposiciones experimentales a mezclas de contaminantes análogas a las reales.

En la exposición a que se sometan los animales deben emplearse mezclas y concentraciones de contaminantes de la atmósfera análogas a las que existen en realidad y simultáneamente agua y alimentos que contengan cantidades y tipos de contaminantes en esas condiciones. Entre las observaciones que habrá que efectuar figuran las de toxicidad y efectos en el comportamiento social y en el envejecimiento y duración de la vida.

Experimentos en gran escala. Para mejorar la fidelidad de la extrapolación de casos de prevalencia baja a fin de pronosticar los riesgos de la salud humana, se recomienda el uso de grandes cantidades (miles) de animales en experimentos seleccionados.

Efectos de los contaminantes en combinación con infecciones. Los experimentos deberán combinar la exposición a los contaminantes con la exposición a agentes infecciosos, tanto en combinaciones naturales como en otras preparadas experimentalmente. Asimismo, se realizarán estudios con animales que padezcan deficiencias orgánicas o debilidad general.

Estudios epidemiológicos en animales. Deben efectuarse estudios epidemiológicos acerca de los efectos de los contaminantes en los receptores de contaminación del ambiente natural y en animales salvajes y domésticos; en este último caso, se harán en colaboración con los investigadores veterinarios. Deben intensificarse los trabajos para crear nuevas cepas endogámicas y nuevas especies de animales a fin de investigar en el laboratorio los efectos de los contaminantes.

Estudios de enzimas

Función de las enzimas en la adaptación a los contaminantes. Deben tomarse nuevas medidas para determinar qué contaminantes estimulan la producción de enzimas de adaptación en los animales y en el hombre, y prestarse especial atención a la función de la estimulación repetida, como parte de un esfuerzo para comprender el mecanismo de defensa del organismo contra los contaminantes. Deben determinarse las diferencias de reacción de las diferentes especies huésped y evaluarse el efecto de la edad en estas relaciones. También habrá que investigar los mecanismos de estos cambios.

Reacciones inmunológicas a los contaminantes. Debe continuarse la investigación de las reacciones inmunológicas a la exposición a contaminantes y sobre los contaminantes que tienen efectos importantes en este respecto, así como sobre los efectos de las combinaciones de contaminantes en los procesos inmunológicos. Hay que continuar y ampliar las investigaciones sobre los efectos inmunológicos de las infecciones, provocadas o naturales, superimpuestas a la exposición a contaminantes.

Otros mecanismos de adaptación. Debe investigarse la forma en que el sistema nervioso central contribuye a mantener un equilibrio homeostático como defensa contra la exposición a los contaminantes y como adaptación a ella. Asimismo hay que tratar de encontrar la manera de aumentar las defensas naturales contra los contaminantes y de mejorar los mecanismos de adaptación del organismo.

Metabolización de los contaminantes absorbidos

Deben ampliarse las investigaciones sobre la absorción, distribución, metabolización, acumulación y expulsión de los contaminantes del ambiente; en ellas deben figurar las vías de entrada, como la piel y los conductos respiratorio e intestinal. Los estudios deben concentrarse en grupos y tipos compuestos, como, por ejemplo, los carbonatos u otros plaguicidas introducidos recientemente, los epóxidos, los amino y nitro compuestos aromáticos más importantes, las alquilnitrosaminas y otras sustancias que pueden producir cánceres, mutaciones o monstruosidades, algunas sustancias halogenadas, combinaciones de aerosol, y metales y metaloides.

Estudios carcinogénicos y mutagénicos

Las investigaciones de las posibilidades carcinogénicas y mutagénicas de los contaminantes debe concentrarse en los efectos de cinco factores: i) vía de entrada; ii) transporte metabólico; iii) diferencias de las especies; iv) estimuladores o aceleradores, y v) relación dosis-reacción. Deben iniciarse investigaciones sobre los efectos teratogénicos, a fin de determinar la dosis menor del agente contaminante del aire o agua que puede tener como consecuencia efectos de esa clase.

Efectos a largo plazo de los contaminantes sobre el proceso de envejecimiento

Las investigaciones sobre los efectos en el proceso de envejecimiento o en la reducción de la duración de la vida deben:

- a) Seleccionar los contaminantes para determinar si tales efectos son posibles y estudiar la relación dosis-reacción;
- b) Determinar los procesos que causan estos efectos, y
- c) Tratar de establecer criterios para definir el proceso de envejecimiento.

En el documento sobre problemas de la investigación de la contaminación del medio se encontrará una lista de los problemas de investigación que se han descrito en esta sección, conjuntamente con otras investigaciones que han propuesto los grupos científicos, así como sus recomendaciones a la OMS.



Miembros de grupos científicos sobre diversos aspectos
de contaminación del medio, reunidos en Ginebra entre
marzo de 1963 y noviembre de 1965

Contaminantes microquímicos del medio (marzo de 1963)

Miembros:

Dr. J.M. Barnes, Director, Toxicology Research Unit, Medical Research Council
Laboratories, Carshalton, Surrey, Reino Unido

Profesor P. Bonnevie, Director del Instituto Universitario de Higiene,
Copenhague, Dinamarca

Profesor Gordon M. Fair, profesor de ingeniería sanitaria, Universidad de
Harvard, Cambridge, Mass., Estados Unidos de América

Dr. P.J. Lawther, Director, Medical Research Council, Air Pollution Research
Unit, Londres, Reino Unido

Secretaría:

Dr. M. Hollis, Director de la División de Saneamiento del Medio

Dr. M. Laird, Jefe Biología del Medio

Sr. R. Pavanello, Jefe, Contaminación del Aire y del Agua

Grupo científico sobre evaluación biológica del grado de contaminación del agua
1.º a 5 de junio de 1964)

Miembros:

Dr. H. Bick, Zoologischen Sammlung der Landwirtschaftlichen Fakultät der
Universität Bonn, Bonn, Alemania

Dr. G.T. Bonde, Instituto Universitario de Higiene, Copenhague, Dinamarca

Dr. B.J. Cholnoky, National Institute for Water Research, Grahamstown,
Sudáfrica

Profesor M. Huet, Director, Station de recherches des eaux et forêts,
Groenendaal-Hoeilaart, Bruselas, Bélgica

Dr. H.B.N. Hynes, Catedrático de zoología de aguas dulces, Universidad de
Liverpool, Liverpool, Reino Unido 1/ (Presidente)

Dr. S. Yekov, Jefe del Laboratorio de Microbiología Sanitaria, Sofia, Bulgaria

Profesor H. Liebmann, Bayerische Biologische Versuchsanstalt (Demoll-Hofer-
Institut), Munich, Alemania

Profesor A.G. Rodina, Instituto Zoológico, Academia de Ciencias, Leningrado,
URSS (Vicepresidente)

Profesor M. Stangenberg, Director del Instituto de Limnología y Pesca,
Breslaw, Polonia

Dr. C.M. Tarzwell, Jefe, Biología acuática, Sanitary Engineering Center,
United States Public Health Service, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos de
América (Relator)

Secretaría:

Dr. M. Laird, Jefe, Biología del medio, División de Saneamiento del Medio
(Secretario)

1/ Cargo actual: Profesor de biología, Universidad de Waterloo, Waterloo,
Ontario, Canadá.

Grupo científico sobre cuestiones biológicas de la contaminación microquímica de los sistemas hidrográficos (8 a 12 de junio de 1964)

Miembros:

Sr. T.W. Beak, Director, T.W. Beak Consultants Ltd., Collins Bay, Ontario, Canadá (Presidente)

Dr. M. Yekov, Jefe, Departamento de Higiene del Agua, Instituto de Investigación Científica de Higiene y Sanidad, Sofía, Bulgaria (Vicepresidente)

Profesor H.O. Hettche, Director, Landesanstalt für Immissions-und Bodennutzungsschutz, Essen, Alemania

Dr. A. Kaminski, Instituto Militar de Higiene y Epidemiología, Varsovia, Polonia

Sr. K.R. Khan, Central Public Health Engineering Research Institute Zonal Centre, c/o Osmania Medical College, Haiderabad, India

Dr. L. Ormay, Jefe del Laboratorio de Microbiología del Medio, Instituto Nacional de Higiene, Budapest, Hungría

Profesor A.G. Rodina, Instituto Zoológico, Academia de Ciencias, Leningrado, URSS

Dr. B.A. Southgate, Director, Water Pollution Research Laboratory, Stevenage Herts, Reino Unido (Relator)

Dr. C.M. Tarzwell, Jefe, Biología Acuática, Robert A. Taft Sanitary Engineering Centre, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos de América

Profesor V. Tonolli, Director, Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza, (Novara), Italia

Sr. R.E. Warner, Biólogo jefe, Engineering Science Inc., Oakland, California, Estados Unidos de América

Secretaría:

Dr. M. Laird, Jefe, Biología del Medio, División de Saneamiento del Medio

Grupo científico de investigación de la contaminación del medio (20 a 25 de julio de 1964)

Miembros:

Profesor A. Giovanardi, Director, Instituto Universitario de Higiene, Milán, Italia

Dr. J.R. Goldsmith, Jefe, Estudios médicos sobre contaminación del aire, California Department of Public Health, Berkeley, California, Estados Unidos de América

Dr. H. Jammet, Jefe del departamento de protección sanitaria, Centre d'études nucléaires, Fontenay-aux-Roses, Francia

Sr. H.P. Kramer, Director, Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, Estados Unidos de América (Presidente)

Dr. P.J. Lawther, Director, Medical Research Council, Air Pollution Research Unit, St. Bartholomew's Hospital, Londres, Reino Unido

Profesor Edm. Leclerc, Director, Centre belge d'étude et de documentation des eaux, Lieja, Bélgica (Relator)

Dr. A.E. Martin, Funcionario Médico Superior, Ministry of Health, Londres, Reino Unido

Profesor V.A. Riazanov, Director del Instituto de Higiene Municipal y General, Moscú, URSS (Vicepresidente)

Dr. G.J. Stander, Director, National Institute for Water Research, Pretoria, Sudáfrica

Profesor V.B. Vouk, Director, Instituto de Investigaciones Médicas, Zagreb, Yugoslavia (Relator)

Secretaría:

Sr. R. Pavanello, Jefe, Contaminación del agua y del aire, División de Saneamiento del Medio (Secretario)

Profesor J.E. McKee, W.M. Keck Laboratory of Environmental Health Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, California, Estados Unidos de América (Asesor temporal)

Grupo científico sobre los efectos que a largo plazo pueden tener en la salud los nuevos contaminantes (10 a 16 de noviembre de 1964)

Miembros:

Profesor P. Bonnevie, Director, Instituto Universitario de Higiene,
Copenhague, Dinamarca

Profesor Lars T. Friberg, Director, Departamento de higiene, Karolinska
Institutet, Estocolmo, Suecia

Dr. J.C. Gilson, Director, MRC Pneumoconiosis Research Unit, Llandough
Hospital, Penarth, Glamorgan, Reino Unido (Presidente)

Dr. A. Lafontaine, Director, Institut d'higiene et d'epidémiologie
(Ministère de la Santé publique et de la Famille) Bruxelles-Ixelles,
Bélgica

Dr. N. Nelson, Director, Instituto de Medicina del Medio, New York University
Medical Centre, Nueva York, N.Y., Estados Unidos de América

Profesor B. Paccagnella, Director, Instituto de Higiene, Universidad de
Ferrara, Italia

Dr. P. Pachner, Instituto de higiene industrial y enfermedades del trabajo,
Praga, Checoslovaquia, (Vicepresidente)

Dr. H.E. Stokinger, Jefe, Sección de toxicología, Occupational Health Research
and Training Facility, Division of Occupational Health US PHS, Cincinnati,
Ohio, Estados Unidos de América (Relator)

Dr. J.A. Zapp, Jr. Director, Haskell Laboratory for Toxicology and Industrial
Medicine, E.I. Dupont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware, Estados Unidos
de América

Secretaría:

Sr. R. Pavanello, Jefe, Contaminación del medio, División de Saneamiento del
Medio (Secretario)

Dr. John R. Goldsmith, epidemiólogo, Contaminación del medio, División de
Saneamiento del Medio.

Grupo científico sobre identificación y medición de contaminantes del aire
(16 a 22 de noviembre de 1965)

Miembros:

- Profesor P. Chovin, Director, Laboratoire municipal (Préfecture de Police),
París, Francia
- Profesor M. Katz, L.C. Smith College of Engineering, University of Syracuse,
Syracuse, N.Y. Estados Unidos de América
- Profesor T. Kitagawa, Departamento de seguridad en la ingeniería química,
Universidad Nacional de Yokohama, Ohkamachi, Minamiku, Yokohama, Japón
- Dr. P.J. Lawther, Director, MRC, Air Pollution Research Unit, St. Bartholomew's
Hospital Medical College, Londres, Reino Unido (Presidente)
- Dr. John H. Ludwig, Jefe, Laboratory of Engineering and Physical Sciences,
Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, Estados
Unidos de América (Relator)
- Profesor K. Symon, Director, Instituto de higiene, Srobarova 48, Praga,
Checoslovaquia
- Profesor F.L. Petrilli, Director, Instituto Universitario de Higiene, Génova,
Italia
- Profesor V.A. Riazanov, Director, Instituto de Higiene Municipal y General,
Moscú, URSS (Vicepresidente)
- Profesor L. Silverman, Jefe, Department of Industrial Hygiene, Harvard
School of Public Health, Boston, Mass., Estados Unidos de América

Representante de la Organización Meteorológica Mundial

- Profesor F.H. Schmidt, Presidente, Grupo de trabajo de la OMM sobre contami-
nación de la atmósfera y química atmosférica (Real Instituto Meteorológico
de los Países Bajos, Utrechtse weg 297, De Bilt, Países Bajos)

Representantes de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada

- Dr. R. Morf, Secretario General, Unión Internacional de Química Pura y
Aplicada (c/o Hoffmann-La-Roche & Cie, Basilea, Suiza)
- Profesor R. Truhaut, Presidente de la división de química aplicada de la
Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (Faculté de Pharmacie de
l'Université de Paris, París, Francia)

Observador de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos

Sr. P. Lieben, administración en la Dirección de asuntos científicos, OCDE,
París, Francia

Secretaría:

Sr. R. Pavanello, Jefe, Contaminación del medio, División de Saneamiento del
Medio (Secretaría)

Dr. John R. Goldsmith, epidemiólogo, Contaminación del medio, División de
saneamiento del medio

Profesor Philip W. West, College of Chemistry and Physics, Louisiana State
University, Baton Rouge, Louisiana, Estados Unidos de América (Asesor
temporal)

Bibliografía escogida

FAO/OMS	"Evaluación de la toxicidad de los residuos de plaguicidas en los alimentos" (Informe de una reunión conjunta del Comité de la FAO sobre plaguicidas en agricultura y del Comité de Expertos de la OMS sobre residuos de plaguicidas).	1963
	También, Informe de la segunda reunión conjunta de los comités antes nombrados y monografía sobre plaguicidas	1965

Publicaciones de la OMS

Boletín de la OMS

Vol. 14 Nos. 5 - 6	Water Sanitation	1956
Vol. 16 No. 3	Onchocerciasis and filariasis	1957
Vol. 25 Nos. 4 - 5	Bilharziasis	1961
Vol. 27 Nos. 4 - 5	Onchocerciasis and filariasis	1962

Serie de Monografías de la OMS

No. 16	<u>Toxic hazards of certain pesticides to man</u> <u>/Peligros tóxicos de determinados plaguicidas para el hombre/</u>	1953
No. 18	<u>Design and operation of septic tanks</u> <u>/Diseño y funcionamiento de tanques sépticos/</u>	1953
No. 31	<u>Composting</u> <u>/Mezcla de basuras pulverizadas y fangos activados de aguas negras/</u>	1956
No. 32	<u>The training of sanitary engineers</u> <u>/Formación de ingenieros sanitarios/</u>	1956
No. 39	Evacuación de excretas en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades	1958
No. 46	Contaminación de la atmósfera	1961

Cuadernos de Salud Pública

No. 10	Lucha contra los helmintos transmitidos por el suelo	1961
No. 13	Aspectos de la Lucha contra la contaminación del agua	1962
No. 15	Epidemiología de la contaminación atmosférica	1962
No. 23	Situación y necesidades de los servicios urbanos de abastecimiento de agua en setenta y cinco países en desarrollo	1963

Serie de Informes Técnicos

No. 10	Comité de Expertos en Saneamiento Ambiental, Informe de la primera reunión	1950
No. 47	Comité de Expertos en Saneamiento Ambiental, Informe de la segunda reunión	1951
No. 77	Comité de Expertos en Saneamiento Ambiental, Informe de la tercera reunión	1953
No. 144	Métodos de ensayo toxicológico de los aditivos alimentarios (segundo informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en aditivos alimentarios)	1958
No. 157	Quinto informe del Comité de Expertos en Saneamiento Ambiental - Contaminación atmosférica	1958
No. 213	Cor Pulmonale Crónico (Informe de un Comité de Expertos)	1961
No. 233	Comité de Expertos en filariasis	1962
No. 246	Problemas de higiene del trabajo en la agricultura (Cuarto informe del Comité Mixto OIT/OMS de Higiene del Trabajo)	1962
No. 248	El problema de la radiación en relación con otros riesgos para la salud (Tercer informe del Comité de Expertos en Radiaciones)	1962
No. 271	Contaminantes de la atmósfera - Informe de un Comité de Expertos de la OMS	1963
No. 285	Comité de Expertos en Hepatitis	1964
No. 292	<u>Environmental Change and Resulting Impact on Health</u> /Modificaciones del medio y sus consecuencias para la salud/ (Informe de un Comité de Expertos de la OMS)	1964
No. 297	<u>Environmental Health Aspects of Metropolitan Planning and Development</u> /Aspectos ambientales sanitarios de la urbanización y desarrollo metropolitano/ (Informe de un Comité de Expertos de la OMS)	1965
No. 318	<u>Water Pollution Control</u> /Lucha contra la contaminación del agua/ (Informe de un Comité de Expertos de la OMS	1966
	<u>Water Pollution in Europe</u> /Contaminación del agua en Europa/ Oficina Regional para Europa de la OMS	1956
	<u>European Standards for Drinking Water</u> /Normas europeas para el agua potable/	1961

<u>International Standards for Drinking Water</u> / <u>Normas internacionales para el agua potable</u> / (Segunda Edición)	1963
<u>Specifications for insecticides</u> / <u>Especificaciones para insecticidas</u> / (Segunda edición)	1961
<u>Air pollution: a survey of existing legislation</u> / <u>Contaminación de la atmósfera: estudio de la legislación vigente</u> .	1963
" <u>Criteria e índices aplicables a la pureza del aire</u> " (Informe del Seminario Interregional de la OMS)	1963
<u>Guide to the Selection of Methods for Measuring Air Pollutants</u>	(En preparación)

ANEXO II

CENTROS INTERNACIONALES DE REFERENCIA DE LA OMS

INDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	2
2. DEFINICIONES	2
3. DENOMINACION	4
4. OBJETIVOS Y FUNCIONES.	4
a) Objetivos	4
i) Establecimiento de patrones	4
ii) Consultas	6
iii) Recopilación, producción y distribución de material . . .	6
iv) Intercambio de información técnica.	7
v) Capacitación	7
b) Funciones	7
5. INFORMES PRESENTADOS POR LOS CENTROS INTERNACIONALES Y REGIONALES DE REFERENCIA DE LA OMS	8
6. CRITERIOS PARA LA SELECCION DE UN CIR.	8
a) Tema	8
b) Ubicación.	8
c) Institución	9
7. DESIGNACION	9
8. RESPONSABILIDADES DE LA OMS CON RESPECTO A SUS CIR Y CRR	10
9. RESPONSABILIDADES DE LA INSTITUCION HUESPED CON RESPECTO AL CIR DE LA OMS	11

1. INTRODUCCION

Este documento se refiere a los Centros Internacionales de Referencia de la OMS (CIR), a los Centros Regionales de Referencia (CRR) y a sus relaciones mutuas y con los Centros Nacionales de Referencia (CNR). Estos tres tipos de centros constituyen, juntos, una importante red mundial de instituciones cuyo objeto consiste en fomentar la aplicación de patrones y normas a los materiales y las prácticas y en desarrollar la investigación y la colaboración con respecto a los problemas que plantea la labor de referencia de los centros.

Las actividades y responsabilidades internacionales de la OMS abarcan muchos tipos de centros de referencia. Su variedad es demasiado grande para hacer una exposición sobre todas ellas, por breve que sea. Sin embargo, una descripción general podría ser útil para las personas interesadas.

2. DEFINICIONES

a) Un Centro Internacional de Referencia (CIR) es una institución designada por la OMS o por un órgano internacional competente y especializado para prestar ayuda al desarrollo y mantenimiento de estrictas normas de trabajo en sectores especializados, cuando sea necesario^{1/}. Un CIR presta ciertos servicios de interés internacional para la práctica o la investigación en la medicina y en la sanidad pública^{2/}. El objeto de estos servicios consiste en mejorar la precisión, la fiabilidad, la concordancia y la comparabilidad de los datos en la práctica, y los resultados derivados de los estudios nacionales e internacionales.

b) Un Centro Regional de Referencias (CRR) tiene funciones similares a las de un CIR pero restringidas a aquellas que puede aceptar y limitadas a un grupo de países relacionados geográficamente^{3/}. Colabora con el CIR en su esfera recopilando ciertos datos y materiales y colaborando en el desarrollo de clasificaciones, etc., y mantiene contactos más estrechos con los CNR para las consultas. Tramita las

^{1/} Hay CIR mixtos OMS/FAO para temas que interesan a ambas organizaciones, como por ejemplo la brucelosis, la leptospirosis.

^{2/} No puede hacerse ninguna distinción útil, en lo que se refiere a los CIR, entre los servicios para la práctica y los servicios para la investigación.

^{3/} El término "regional" se utiliza aquí para una agrupación regional que no coincide necesariamente con una región de la OMS.

peticiones de información formuladas por los CNR y sólo transmite al CIR aquellos problemas que no puede resolver. Estos centros son establecidos por la OMS en consulta con el CIR. Normalmente sólo hay un CRR en una región. Cuando no hay centros regionales, hay comunicación directa entre los CNR y el CIR.

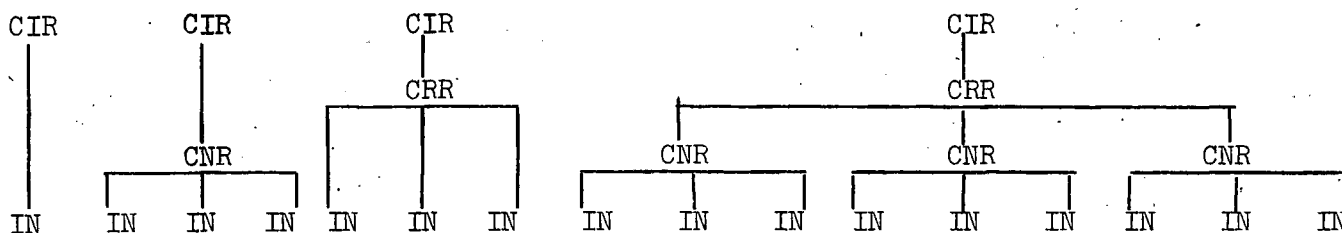
c) Un Centro Nacional de Referencia (CNR) es un centro establecido por un gobierno para que preste servicios de asesoramiento en una esfera determinada, y sólo es responsable ante el gobierno. Un CNR puede establecer contacto directo con el CRR con que está relacionado y, si no hay centro regional, con el CIR. El CNR tiene derecho a recibir, si las solicita del CRR o del CIR, muestras de material normalizado e información conexas sobre los métodos de utilización de las mismas. A su vez, transmite todo ello a otras instituciones nacionales (IN) e industrias. Cuando no haya CRR ni IN, un trabajador individual o una institución científica o industrial pueden ponerse en contacto directamente con un CIR y recibir, si las solicitan, normas o material de referencia del CIR, si es que éste dispone de cantidad suficiente.

d) Los laboratorios asociados de la OMS pueden ser de distintos tipos:

- i) Un laboratorio puede ser escogido por un CIR, de acuerdo con la OMS, para trabajar exclusivamente con el CIR por un año o dos, por ejemplo, alguna tarea que requiera colaboración internacional.
- ii) Un laboratorio puede ser seleccionado por la OMS, de acuerdo con un CIR, para trabajar con éste por unos meses en la comprobación de propuestas para una clasificación o nomenclatura internacionales, antes que el CIR la presente a la OMS.
- iii) Un laboratorio puede ser seleccionado por la OMS para trabajar directamente con la Organización por un período determinado en la recopilación de información o material, o para llevar a cabo ciertos trabajos de referencia más limitados que los confiados a un centro de referencia designado.

El diagrama siguiente indica las relaciones entre los distintos centros de referencia:

CENTROS INTERNACIONALES DE REFERENCIA



/...

3. DENOMINACION

El nombre más frecuentemente utilizado es el de "Centro Internacional de Referencia" aunque a veces se habla de "Laboratorio" en lugar de "Centro".

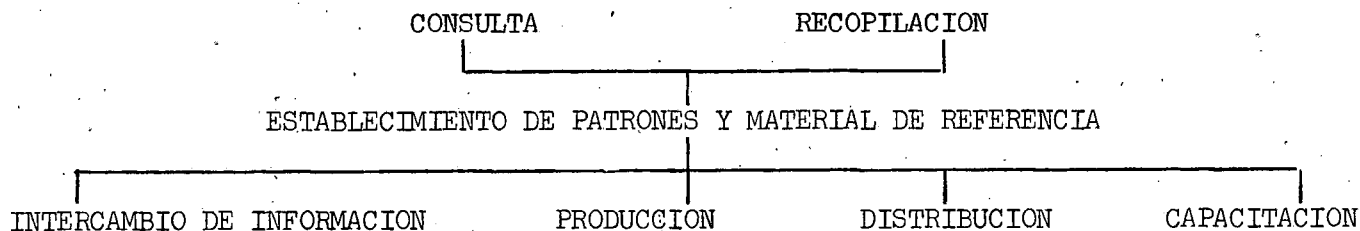
Si un Centro Internacional de Referencia ha sido designado por la OMS, en su denominación deben entrar las palabras "Organización Mundial de la Salud" o las iniciales "OMS". "Referencia" significa "presentación de un asunto a cierta autoridad para su examen o información" y también implica "consulta". Aunque en algunos casos la palabra "laboratorio" puede tener un sentido más específico que "centro", en general es restrictiva y por esta razón se prefiere "centro". Así pues, el nombre genérico sería "Centro Internacional (o Regional) de Referencia de la OMS para ...".

Puede haber inconvenientes en cambiar los nombres de laboratorios de referencia establecidos desde hace mucho tiempo, pero las futuras instituciones de referencia deben ser designadas "CIR" o "CRR", siempre que sea posible.

4. OBJETIVOS Y FUNCIONES

a) Objetivos

Los objetivos del CIR consisten en prestar y desarrollar servicios a la práctica o la investigación en medicina o sanidad pública. Estos servicios pueden figurar en un diagrama en el orden en que suelen desarrollarse las actividades con mayor frecuencia:



i) Establecimiento de patrones (por solicitud de la OMS)

Designación de sustancias determinadas que sirvan de patrones internacionales o como preparaciones de referencia (y definición de unidades internacionales). Establecimiento de nomenclaturas tipo, clasificaciones o normas mínimas para sustancias biológicas, listas de niveles normales

o permisibles de sustancias tóxicas en el organismo o de radiación que puede ser nociva, técnicas y métodos, etc., normalizados (uniformes)^{1/} recomendados para su utilización internacional.

El procedimiento general para esta labor, particularmente con respecto a las nomenclaturas y clasificaciones, es que un CIR sirve como centro de coordinación en nombre de la OMS y es responsable ante ella. No puede hacer ni publicar ninguna declaración provisional o final sobre estas cuestiones sin el consentimiento de la OMS.

En la patología del cáncer, por ejemplo, con ayuda de un grupo asesor de expertos procedentes de distintos países y que representan diferentes tradiciones académicas, se prepara un proyecto de clasificación de patrón, etc., que es estudiado por el CIR y varios laboratorios asociados. Las propuestas que se derivan de tal estudio pueden enviarse por algunos meses a otros laboratorios asociados para que éstos las verifiquen antes que el CIR los presente a la OMS para que ésta recomiende su utilización internacional, tras haberlas presentado, en algunos casos, a un grupo asesor de la OMS. En la fase inicial de este procedimiento y cuando se promulgan las normas se puede consultar a organismos internacionales especializados y competentes. El establecimiento de nomenclaturas o clasificaciones internacionales de material de referencia normalizado, etc., suele ser

^{1/} Entre los intereses y funciones de la OMS figura el establecimiento de normas internacionales para determinar la actividad y los requisitos internacionales de calidad de las sustancias biológicas, al igual que las especificaciones recomendadas para productos farmacéuticos y de otro tipo. Sin embargo, no puede asumir ninguna otra responsabilidad por la calidad de los productos comerciales salvo la de recomendar que sean probados para ver si se ajustan a los requisitos y especificaciones recomendadas. Después de haberse probado una partida, puede decirse si se ajusta a las normas o no, pero un certificado de conformidad con tales normas no significa que la OMS haya "aprobado el producto".

Un patrón es un ejemplar autorizado (modelo para ser imitado) de una unidad de medición, por ejemplo el antiguo metro-patrón. Un patrón biológico se establece para especificar una propiedad biológica, como por ejemplo la actividad, en función de cierta unidad, como por ejemplo unidades de insulina. Sin embargo, el término inglés "standard" se utiliza a menudo con el sentido de "uniforme" o "normalizado" cuando se aplica, por ejemplo, a un método.

una actividad de duración limitada. Cuando termina el trabajo - pasado un año o más - el CIR puede convertirse en un centro de consulta internacional, si su director consiente en ello. En ese momento puede considerarse que ha terminado la tarea de los laboratorios asociados, salvo que puede resultar práctico utilizar algunos de estos laboratorios para la capacitación, después de haber consultado con la OMS.

El objeto principal del establecimiento de nomenclaturas y clasificaciones tipo consiste en mejorar la comparabilidad de los estudios de grupos de población en diferentes países. Por ejemplo, a estos efectos suele considerarse satisfactoria a una nomenclatura o clasificación cuando abarca el 90% o 95% de las situaciones en que se ha de utilizar.

Antes que la OMS las acepte definitivamente, las nomenclaturas y clasificaciones deben ser estudiadas minuciosamente para reducir la variabilidad, tanto entre los diferentes especialistas (variabilidad entre observadores) como entre observaciones efectuadas por el mismo especialista (variabilidad con respecto al mismo observador) a fin de determinar si son apropiadas para el uso general. Es mejor contar con menos términos, y menos detalladamente especificados, pero con una mayor comparabilidad entre observadores y con respecto al mismo observador, que disponer de muchos términos muy específicos, pero menos comparables.

ii) Consultas (a solicitud de los CRR o, de no existir éstos, de los CNR o de la OMS)

- 1) Identificación de cepas, organismos, parásitos, vectores, tumores, etc.
- 2) Comprobación de la precisión y coherencia de los métodos técnicos, etc.
- 3) Control de otros patrones reconocidos que interesen al CIR.

iii) Recopilación, producción y distribución de material (con el consentimiento de la OMS y a solicitud de los CRR o CNR)

- 1) Cepas normalizadas o de referencia de organismos, insectos o animales normales o anormales con fines concretos.
- 2) Materiales, sueros, reactivos, preparaciones histopatológicas, tumores congelados, equipos, etc., patrones de referencia.

Esta labor se basa en la aceptación de normas internacionales y material de referencia internacional y puede continuar indefinidamente. Sin embargo, mediante la labor y la selección de los CRR y CNR, debe evitarse una excesiva demanda de los servicios de los CIR. Los gastos que ocasionen estas actividades, por ejemplo la distribución, se sufragan mediante pagos de la OMS a los CIR.

iv) Intercambio de información técnica (trabajo de rutina)

Deben presentarse informes periódicos a la OMS sobre la labor propuesta en la carta de designación y acuerdo sobre servicios técnicos y sobre otros datos técnicos pertinentes, tales como cepas de organismos identificados y detalles de su procedencia^{1/} y material reunido y distribuido. Los datos de esos informes serán distribuidos por la OMS a los CRR y CNR y a otros trabajadores e instituciones interesados. Puede ser necesaria la preparación de manuales.

v) Capacitación (por solicitud de la OMS o de los gobiernos)

Hay una necesidad cada vez mayor de capacitar becarios de la OMS, beneficiarios de subsidios para formación en trabajos de investigación y otros pasantes. La capacitación puede empezar en un CIR en cualquier momento después de su designación, pero es preferible empezarla una vez que se haya establecido una clasificación, una técnica, etc. Puede emprenderse en un CRR o en laboratorios asociados que cuenten con los servicios adecuados. Antes de que la OMS conceda una beca de capacitación o investigación para estudiar en un CIR o de que se hagan otros arreglos para otros pasantes, el Centro debe aceptar al candidato.

b) Funciones

No deben confundirse las funciones del CIR con las actividades de la institución huésped. Las funciones del CIR deben estar relacionadas directamente y en todo momento con el objeto para el cual fue designado. La institución huésped realizará casi con toda seguridad investigaciones y tendrá instalaciones clínicas y una

^{1/} A menudo sólo se envían al CIR las cepas que no son típicas ni representativas.

biblioteca; también es posible que las autoridades sanitarias nacionales le hayan confiado ciertas tareas epidemiológicas o de otra índole. Estas no figuran necesariamente entre las funciones de un CIR o de un CRR que ha asumido responsabilidades internacionales con respecto a otras obligaciones pertinentes. Sin embargo, en ciertas esferas científicas el gran interés del director del CIR o CRR por el material recibido en el centro ha llevado a un enfoque más amplio de nuevos problemas que requieren más investigación coordinada y nueva colaboración entre los CIR y CRR.

5. INFORMES PRESENTADOS POR LOS CENTROS INTERNACIONALES Y REGIONALES DE REFERENCIA DE LA OMS

Los informes técnicos periódicos o anuales sobre la labor realizada deben presentarse a la OMS. Esta, a su vez, puede distribuirlos a otras instituciones interesadas (véase 4 iv)). La comunicación de la presencia y propagación de una enfermedad en un país suele ser de la competencia de las autoridades sanitarias nacionales.

6. CRITERIOS PARA LA SELECCION DE UN CIR

a) Tema

Al designarse un CIR de la OMS para un tema determinado, uno de los criterios principales es la necesidad, por razón de la carencia o insuficiencia de materiales, clasificaciones, nomenclaturas, reactivos, etc., normalizados, para fines internacionales. Hay que tener particularmente en cuenta la importancia o existencia actual o futura de la condición que aún no se ha estudiado satisfactoriamente, las diferencias geográficas en la existencia de dicha condición, y las necesidades de los programas de la OMS.

b) Ubicación

La elección de la localidad depende de la presencia de una institución de investigación adecuada, de la disponibilidad de material y de la facilidad de utilización. Si hay más de una institución adecuada para un tema determinado, debe tenerse en cuenta la situación geográfica y evitarse la concentración de los CIR en unos pocos países.

c) Institución

El criterio más importante en la elección de una institución es la disponibilidad de una persona de competencia profesional sobresaliente en el tema propuesto, que será el director del centro y que, junto con la institución será responsable por el CIR ante la OMS; también es esencial que esa persona sea aceptada por las demás que trabajan en esta esfera, para lograr la cooperación de éstas. No puede designarse un CIR mientras no se conozca al director del centro y no se haya obtenido el consentimiento del director del instituto huésped.

Entre otros factores marginales que deben asegurarse siempre antes de designar un CIR figuran los siguientes: disponibilidad de otro personal profesional calificado; investigación pertinente y activa en la institución huésped; ciertos servicios básicos, como laboratorios, personal técnico y de oficina, equipo, animales para los experimentos (en caso necesario), recursos para la distribución, etc. También se tomará en cuenta la ubicación de los centros nacionales y regionales de referencia designados o proyectados.

Al seleccionar una institución para designarla como CIR de la OMS, debe prestarse particular atención a la probable continuidad de los funcionarios especialistas responsables. Sin embargo, es importante que el CIR no tenga que depender únicamente de una sola persona si se desea que siga desempeñando funciones que no sean las de la definición. En otras palabras, la institución huésped propuesta debe ser suficientemente grande o importante para asegurar la continuación de la actividad del CIR, aun si la persona clave dejara de estar al frente del CIR o hubiera otros cambios en el personal especializado. En el pasado, cuando se ha tenido que cubrir una vacante, y entre ellas podía estar la de director de un CIR, las instituciones huésped han solido tener en cuenta las funciones del CIR.

La elección final de la prioridad, el tema, y la institución y la definición de las funciones exactas del CIR de la OMS corresponden al Director General.

7. DESIGNACION

Cuando el Director General ha aprobado el establecimiento de un CIR de la OMS en una institución huésped, se requiere la aprobación del director de esta última. Al mismo tiempo, se informa al gobierno de la intención de la OMS de designar el Centro. Sólo cuando se ha recibido la aprobación del director se envía una carta

de designación al jefe del futuro CR. En esta carta se explican claramente las obligaciones y responsabilidades del Centro, al igual que la responsabilidad de la OMS con respecto al Centro, inclusive todo pago anual que haga la OMS y el período probable de duración de ese apoyo. El acuerdo oficial sobre servicios técnicos entre la OMS, el director del instituto y el del CR confirma este arreglo en los formularios WHO 362 y 363, y se renueva anualmente, según se precise, con los mismos formularios.

Cuando se ha designado un CIR de la OMS con funciones de asesoramiento y de capacitación, se informa a todas las oficinas regionales de la OMS y se les pide que pongan en conocimiento de los gobiernos de su región esta designación, las funciones del Centro y los servicios que podrán proporcionarle los CRR y los CNR.

La designación de los CIR con servicios de asesoramiento también se comunicará en el WHO Chronicle, con una explicación de los servicios que podrán prestar a los CNR.

8. RESPONSABILIDADES DE LA OMS CON RESPECTO A SUS CIR Y CRR

Apoyo financiero

La contribución financiera de la OMS a un CIR o un CRR se destina únicamente a la labor del centro de referencia. Con esta suma se pretende contribuir a la obtención, por ejemplo, de equipo adicional; asistencia técnica, profesional o de oficina; servicios de capacitación, empaque y distribución de material e información; y sufragar cualquier otro gasto directamente relacionado con la labor del centro; el pago de la OMS no está destinado a sustituir parte del apoyo financiero que ya recibe el centro de la institución huésped.

La OMS suele pagar a sus CIR y CRR durante un año únicamente. Puede preverse un apoyo futuro permanente, con sujeción a la disponibilidad de fondos, pero esto no implica ninguna obligación por parte de la OMS. Se negocia un nuevo acuerdo cada año.

Coordinación entre los centros regionales

Para una mejor coordinación de la labor, a veces suele ser necesario que la OMS convoque reuniones de directores de sus CIR y CRR.

9. RESPONSABILIDADES DE LA INSTITUCION HUESPED CON RESPECTO AL CIR DE LA OMS

La institución huésped suministrará al CIR de la OMS, gratuitamente, laboratorios y equipo básico, servicios básicos y personal (que ya debe estar disponible). Esto será convenido con la OMS por correspondencia antes de efectuarse la designación.

ANEXO III

INFORMACION COMPLEMENTARIA DE LA OMM SOBRE CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA

I. INTRODUCCION

El problema de la contaminación de la atmósfera tiene tres aspectos principales:

1. El fenómeno en sí mismo: El origen de los contaminantes y su medición, la dispersión de los contaminantes en la atmósfera, las condiciones físicas en las que la dispersión es posible o imposible, los mecanismos de autodepuración de la atmósfera, las variaciones en la concentración de los contaminantes, etc. El mejor conocimiento del fenómeno de la contaminación atmosférica permitiría sin duda alguna comprender más a fondo el problema y saber mejor como se puede luchar contra sus efectos. Sin esta comprensión todos los esfuerzos serán vanos.

2. Las consecuencias de la contaminación atmosférica, de las cuales la más importante es que afecta directamente las condiciones de vida y la salud del hombre. Pero además, existe otra consecuencia, de cuyo significado, por sus efectos sobre la vida humana, la mayor parte de las personas no se dan cuenta, es decir, los cambios meteorológicos y climáticos inducidos por la contaminación. Por ejemplo, la contaminación de la atmósfera en pequeña escala, tanto en el tiempo como en el espacio, puede reducir la visibilidad, lo que a su vez afecta a gran número de actividades humanas. La contaminación atmosférica en gran escala puede reducir la radiación solar que llega a la superficie de la tierra a través de la atmósfera que la rodea y esto, a su vez, puede producir importantes cambios en las temperaturas de la atmósfera. Los efectos de la erupción del Krakatoa, en agosto de 1883, fueron tan poderosos que se hicieron sentir durante tres años; entre ellos figuraron los de reducir las temperaturas medias del verano en unos 2° ó 3° C por debajo de las normales de los meses correspondientes. Las investigaciones recientemente efectuadas en el Observatorio Geofísico Principal de Leningrado han demostrado que la cantidad media de irradiación solar recibida ha ido disminuyendo gradualmente desde 1940. Este fenómeno es asimismo atribuible al aumento de los contaminantes de la atmósfera.

/...

3. Prevención de la contaminación atmosférica. Este problema es doble y se puede enunciar brevemente de la siguiente manera:

1) Prevención de la contaminación de la atmósfera en regiones donde ya existen fuentes de contaminación (especialmente en las principales zonas industriales).

Con este fin podrían tal vez considerarse las siguientes posibilidades:

a) Aplicación de nuevas técnicas (filtros, chimeneas, muy elevadas, etc.) con el fin de reducir en todo lo posible la intensidad de la contaminación.

b) Emisión de los contaminantes a la atmósfera sólo cuando lo permiten las condiciones meteorológicas como, por ejemplo, cuando la intensidad elevada de la turbulencia facilita la rápida dispersión.

La primera posibilidad (a) es de un carácter puramente técnico, mientras que la segunda (b) exige la aplicación de conocimientos meteorológicos especiales, tanto teóricos como experimentales. Exige asimismo una información precisa que sólo se puede obtener mediante mediciones meteorológicas especiales. Con este fin es necesario predecir las condiciones meteorológicas, con lo que se podrán conocer las perspectivas de dispersión de los contaminantes en la atmósfera con una anticipación de unas 8 ó 10 horas o incluso más. Estas predicciones, a su vez, requieren conocimientos meteorológicos especiales y no se pueden hacer de forma rutinaria.

2) Prevención de la contaminación atmosférica (o, por lo menos, reducción de ésta) en las nuevas zonas industriales, bien en las que ya se están proyectando o en las que se proyectarán para el porvenir.

A este respecto conviene advertir que antes de iniciar la planificación de una nueva zona industrial, o de una nueva fábrica, habrá que proceder al estudio microclimatológico de la zona en cuestión. Con estos estudios preliminares podrá determinarse la zona que ha de quedar incluida en los planes. A continuación se harán ensayos en la zona seleccionada con el fin de localizar en ella los lugares más apropiados para los distintos contaminantes que puedan producirse y de esta forma hallar la solución óptima que asegure unas condiciones de vida adecuadas dentro de la zona industrial concreta sobre la que se han hecho los planes antes de haber emprendido en ella ninguna construcción.

El informe de la OMS se ocupa sobre todo del segundo aspecto del problema, si bien se tratan también el primero y el tercero; no obstante, consideramos que los recientes progresos meteorológicos en el sector de la contaminación atmosférica justifican que se examine de nuevo este asunto.

Por consiguiente, entre las contribuciones de la OMM a esta materia figuran algunas nuevas consideraciones que pueden facilitar la mejor comprensión del problema en su conjunto a la luz de los nuevos progresos.

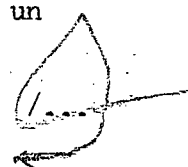
II. CAUSAS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Son causa de contaminación atmosférica gran número de actividades esenciales de los países desarrollados y en desarrollo. Las fuentes principales son la calefacción doméstica, la producción de energía eléctrica y la eliminación de desechos; hay asimismo que tener en cuenta las instalaciones industriales especiales, que pueden ser un factor de contaminación en zonas determinadas, pero este factor puede variar de unas regiones a otras y de unos momentos a otros (éste es un punto muy importante). La gravedad creciente de los problemas de la contaminación atmosférica dentro de la colectividad es consecuencia de los nuevos progresos económicos, como la creación de nuevos complejos industriales y también de nuevas zonas residenciales.

En las regiones donde la concentración de vehículos motorizados es elevada es preciso mantener una atención continua sobre la contaminación causada por los motores de combustión interna (incluidos los motores Diesel), que con frecuencia producen concentraciones considerables. Las necesidades energéticas cada vez mayores han dado y siguen dando lugar a un aumento rápido del consumo de aceite Diesel para generadores. En relación asimismo con las necesidades cada vez mayores de energía está la agravación de la contaminación de la atmósfera por el dióxido de azufre, que puede desprenderse al mismo tiempo que el hollín y el humo. Es evidente que la eficacia de la combustión puede reducir al mínimo estos últimos contaminantes, pero no el primero.

Existen naturalmente otras muchas causas de contaminación, las llamadas "fuentes naturales", entre las que pueden incluirse las erupciones volcánicas, los polvos cósmicos, la sal marina (liberada tras la evaporación de las pequeñas gotitas de agua de mar), el humo de los incendios forestales, el dióxido de carbono procedente de distintos fenómenos naturales y sobre todo de los árboles durante la noche etc., por no nombrar más que éstas.

Los investigadores consideran que la cantidad de contaminantes naturales es bastante pequeña en relación con la que producen las actividades humanas, pero, en el estado actual de nuestros conocimientos, esto es más una suposición que un hecho evidentemente conocido.



III. MEDICION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

La medición de la contaminación atmosférica se trata a fondo en el informe de la OMS y apenas hay nada que añadir. No obstante, podría decirse algo más respecto a la medición de los contaminantes fuera de las zonas contaminadas. Con este fin, podrían establecerse un cierto número de las llamadas estaciones de base. En estas estaciones podría obtenerse información, por medio de mediciones continuas, sobre el nivel general de la contaminación de la atmósfera y determinar las modificaciones a largo plazo de los cuerpos químicos atmosféricos. Bastaría con establecer de 50 a 100 estaciones de base para obtener una cobertura mundial, tanto de los océanos como de los continentes. Respecto a la densidad de las estaciones terrestres, cada país podría establecer una o dos estaciones de base que efectuaran mediciones globales de los contaminantes. Además, en relación con la extensión del país, podrían agregarse más tarde otras estaciones que se encargasen del mismo tipo de medición, pero a escala regional. Estas estaciones de base habrían de estar localizadas lo más lejos posible de los grandes núcleos urbanos y zonas industriales, y debieran estar lejos de la influencia de las pequeñas fuentes locales de contaminación. En el programa de trabajo de las estaciones de base debiera figurar la medición semanal en muestras de aire de las concentraciones medias de dióxido de azufre, y también la medición en muestras mensuales de precipitación de las concentraciones de los principales constituyentes: S, Cl, $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$, Na, K, Mg y Ca. Convendría asimismo que procediesen a la medición de la concentración de dióxido de carbono en un pequeño número de lugares seleccionados donde pudieran obtenerse valores representativos. Del análisis propiamente dicho podría encargarse un pequeño número de centros analíticos.

IV. CONTAMINANTES RADIATIVOS

El descubrimiento de la energía atómica, la invención de la bomba atómica y, sobre todo, las pruebas de armas nucleares han colocado a la humanidad frente al importante problema de prevenir la contaminación de la atmósfera. El peligro ha llegado a la mente no sólo de los investigadores sino también del público en general. Desde el mencionado descubrimiento se han hecho gran cantidad de investigaciones teóricas y experimentales. Los más importantes resultados de los esfuerzos combinados de los investigadores de distintos países se describen a continuación:

a) Gracias a la gran cantidad de estudios teóricos realizados, hoy en día, se pueden describir algunos procesos de difusión turbulenta en nuestra atmósfera mediante fórmulas matemáticas. Sobre la base de las modernas matemáticas, se han elaborado nuevas teorías; entre ellas figuran la teoría de la difusión de contaminantes en la atmósfera turbulenta, la teoría del flujo atmosférico turbulento alrededor de los obstáculos, etc. Gracias a las modernas calculadoras electrónicas es posible emplear estos modelos teóricos en algunos casos, aunque por desgracia no en todos, y observar y calcular la conducta de los contaminantes emitidos a la atmósfera de fuentes aisladas e incluso de amplias zonas.

b) También se ha formulado la ecuación de la difusión turbulenta. En la actualidad se utiliza como ecuación básica para las investigaciones teóricas en este sector concreto.

c) Se ha observado la formación de partículas en los residuos de las bombas nucleares, y el seguimiento de estas formaciones después de una explosión nuclear supone largos y difíciles cálculos. Aún son mayores las dificultades cuando los resultados de esos cálculos no se publican por oponerse a ellos intereses puramente nacionales. Por consiguiente, el investigador ha de contentarse con simples evaluaciones y es posible que en el porvenir tenga que seguirse limitando a estos mismos conocimientos aproximados.

d) También se ha estudiado aproximadamente el mecanismo de transporte de las partículas y residuos radiactivos, y de otros contaminantes. Se considera que el viento es el factor principal en el transporte de partículas y residuos. Hoy en día es posible calcular la extensión de las regiones afectadas gracias a técnicas especiales desarrolladas con ese fin.

e) Se han hecho algunos trabajos sobre lavado de polvos radiactivos en la atmósfera. Como ecuación básica se ha empleado la conocida fórmula de difusión de Sutton, que después se ha modificado para obtener el depósito dejado por el lavado y, por consiguiente, se han derivado dos fórmulas distintas, una para las fuentes puntiformes instantáneas y otras para las fuentes puntiformes continuas. Valiéndose de ambas fórmulas, utilizables bien para condiciones supuestas o bien para condiciones reales, pueden calcularse los riesgos consecutivos al material depositado o al vaciamiento de las nubes transportadas por el aire por la eliminación del material radiactivo.

V. CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y CONTAMINACION ATMOSFÉRICA

Las condiciones meteorológicas que influyen sobre la dispersión de los contaminantes atmosféricos (la mayor parte de ellas mencionadas en el informe de la OMS) pueden combinarse en fórmulas para el cálculo de las concentraciones. No obstante convendría distinguir entre:

- a) Fuentes puntiformes, como chimeneas aisladas; y
- b) Fuentes zonales, como los grandes núcleos urbanos.

En ambos casos los factores que más influyen en la determinación de la dispersión de los contaminantes son la velocidad del viento, el perfil del viento, la estructura del viento (turbulencia), la estabilidad atmosférica y los accidentes de la superficie terrestre. En la mayor parte de los casos estos factores se utilizan solamente de forma cualitativa. Este es sobre todo el caso de la estructura del viento, de la estabilidad atmosférica y de los accidentes de la superficie terrestre. Estos tres parámetros están en cierta medida relacionados entre sí. En lo que respecta a las fuentes puntiformes, puede considerarse que son útiles los métodos cualitativos existentes para la predicción de las concentraciones previsibles en distintas condiciones meteorológicas. En esos métodos no se tiene en cuenta el efecto de la cizalladura vertical del viento y la introducción de este factor constituiría un progreso.

Otra deficiencia es la falta de una teoría completa respecto a la elevación de penachos calientes en la atmósfera. Da la impresión de que sería muy útil el ensayo cuidadoso de las teorías existentes. Otra dificultad que se opone al cálculo de las concentraciones originadas de fuentes puntiformes está en las relaciones existentes entre las concentraciones máximas y los momentos del muestreo. A este problema se ha dedicado cierto número de estudios, la mayor parte de ellos teóricos, y sería útil hacer una recensión de las teorías actuales.

El problema de calcular la intensidad de contaminación en las ciudades es mucho más importante y complejo a causa del desarrollo de la urbanización por todo el mundo. Son aplicables los mismos factores que determinan la intensidad de la contaminación de una fuente puntiforme, si bien lo accidentado del terreno tiene naturalmente mayor importancia. En general puede afirmarse que las informaciones sobre perfiles de vientos y estabilidad en las ciudades son más difíciles de obtener que en las zonas rurales. Debiera tratarse por todos los medios de conseguir

que esta información sea lo más completa posible. La estabilidad se puede asimismo deducir cualitativamente de las variaciones diurnas de temperatura y de las observaciones sobre vientos y nubes.

En principio, la concentración de contaminantes en las ciudades se puede determinar con bastante precisión mediante el uso de calculadoras, que aplican uno de los modelos existentes de fuente puntiforme a las distintas fuentes de contaminación de la ciudad, y suman los resultados. No obstante, esta técnica sólo es aplicable cuando se conoce la intensidad de todos los elementos contaminantes de la ciudad. Convendría asimismo poder calcular mejor los efectos de los accidentes del terreno y la influencia del tráfico. La objeción más importante que se puede hacer a este método es que todos los modelos de fuente puntiforme de contaminación son inútiles en situación de vientos débiles y variables y es sobre todo en estas circunstancias cuando la atmósfera de la ciudad muestra las mayores concentraciones de contaminantes.

Otra posibilidad sería la de investigar en qué condiciones meteorológicas generales (caracterizadas, por ejemplo, por tipos de circulación como los que Hess y Brezowsky han definido para Europa central) se presentan las concentraciones elevadas de contaminantes en las zonas urbanas. Este método semiempírico se ha empleado en cierto número de países y se considera que podría ser útil para determinar las condiciones meteorológicas que facilitan la contaminación elevada. También en este caso se plantea el problema de que las concentraciones varían con los momentos del muestreo. Según ciertos cálculos realizados, en las grandes ciudades las concentraciones de contaminantes tienden a aumentar proporcionalmente a la raíz cuadrada del tiempo después de un aumento súbito de la estabilidad. Aunque la evolución de la contaminación atmosférica durante el gran "smog" de Londres de diciembre de 1952 confirmó esta teoría, convendría reunir más información sobre las correlaciones generalmente halladas entre concentraciones y momentos de muestreo en las ciudades.

VI. PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Hoy en día se conocen dos tipos de predicción de la contaminación atmosférica, que son:

- 1) Predicciones climatológicas para el diseño de fábricas y planificación de ciudades; y
- 2) Predicciones sinópticas para los avisos a corto plazo.

Actualmente la utilidad de las predicciones sinópticas es escasa, ya que la mayor parte de los países carecen de los requisitos legales necesarios para obligar a reducir la emisión de contaminantes cuando se prevén condiciones meteorológicas desfavorables. No obstante, las predicciones sirven en ciertos países para avisar a los distintos organismos y fomentar la reducción voluntaria. Las autoridades sanitarias nacionales deben darse cuenta de que muchos servicios meteorológicos nacionales pueden ayudarles en la elaboración de predicciones sobre niveles elevados de contaminación. A continuación se exponen algunos ejemplos de este tipo de ayuda para la predicción:

En los Países Bajos se alcanzan niveles críticos de contaminación sólo tres o cuatro veces al año y, por consiguiente, no es fácil predecir esta situación de forma habitual. Los organismos municipales vigilan continuamente las concentraciones de dióxido de azufre y, cuando éstas superan un nivel determinado, piden ayuda al servicio meteorológico.

En el Reino Unido se difunden distintos tipos de predicciones. La de los Hospitales de Londres se acompaña de una predicción especial cuando la Oficina Meteorológica espera que en la vecindad se produzca una concentración de dióxido de azufre superior a los 1.000 microgramos por metro cúbico. Esta predicción local está basada en una fórmula empírica que comprende las siguientes variables:

- a) Intensidad de la inversión a bajo nivel,
- b) Temperatura mínima nocturna,
- c) Velocidad del viento, y
- d) Nubosidad.

Si se espera que las circunstancias que favorecen el "smog" van a persistir durante unas 24 horas, se difunde entre el público un aviso de niebla persistente y se les advierte que eviten encender fuegos de carbón con el fin de que se reduzca al mínimo la emisión de humo.

En los Estados Unidos de América, el Centro Meteorológico nacional difunde predicciones sobre "potencial de contaminación" elaboradas con ayuda de calculadoras electrónicas. El "potencial de contaminación" depende de la capacidad de dispersión y ventilación de la atmósfera, existan o no fuentes de contaminación. Estas predicciones se basan en el estudio de gradientes verticales de temperatura por radiosondeo, de los promedios de radiosondeos, de los vientos en las capas inferiores y de la "profundidad de mezcla", estando esta última relacionada con

la predicción de temperatura máxima. A veces, cuando es correcta la predicción de las condiciones meteorológicas a escala sinóptica, ciertas influencias locales, como las características del terreno y las brisas de lago-tierra, originan una cierta ventilación y no se presentan grandes intensidades de contaminación.

En muchos países (como Canadá, Países Bajos, Suecia, Reino Unido, Estados Unidos de América y URSS) se pide asesoramiento a los servicios meteorológicos sobre la localización de las nuevas fuentes de contaminantes. Se hacen predicciones climatológicas relacionando la intensidad de la emisión y la altura de la chimenea con los factores de dispersión atmosférica y la distribución climatológica de los vientos. A este respecto, sería muy interesante disponer de un número mayor de estudios climatológicos sobre factores de dispersión.

VII. AUTODEPURACION DE LA ATMOSFERA

Sin duda alguna existen procesos de autodepuración de la atmósfera, si bien no se sabe mucho sobre ellos. Hay que decir que en la actualidad existe una gran laguna en nuestros conocimientos sobre el fenómeno de la contaminación atmosférica. Ello no obstante, sabemos bastante sobre los procesos químicos que pueden limpiar el aire. Sabemos asimismo que el polvo de la atmósfera puede descender con gran lentitud por la fuerza de la gravedad y sabemos también algo respecto a los procesos de eliminación por lavado mediante las precipitaciones atmosféricas. Pero incluso estos conocimientos son muy limitados. Así pues, convendría dedicar especial atención al estudio de los procesos de autodepuración de la atmósfera. Si llegamos a conocerlos podremos prevenir con mayor eficacia la mayor parte de las consecuencias de la contaminación del aire.

VIII. DAÑOS QUE LA CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA CAUSA AL REINO VEGETAL

La vida vegetal está influida en gran medida por cierto número de contaminantes atmosféricos, algunos de ellos existentes en concentraciones relativamente bajas. La susceptibilidad de distintas especies e incluso de distintas variedades de una misma especie de planta puede variar considerablemente. De todas formas, las encuestas realizadas han demostrado que las pérdidas económicas directa o indirectamente relacionadas con los daños que la contaminación del aire causa a la agricultura tienen gran importancia y van siendo cada vez mayores en muchos

lugares del mundo. Para enfrentarse como corresponde con este aspecto concreto de la contaminación, la Comisión de Meteorología Agrícola, la OMM ha establecido un grupo de trabajo especial que se ocupa sobre todo de las contaminaciones no radiactivas del aire y sus efectos nocivos sobre las plantas y las cosechas. Entre los puntos que tratará este primer informe del grupo de trabajo, podemos señalar los siguientes:

El estudio de los daños que la contaminación atmosférica causa en el reino vegetal es interesante no sólo en sí mismo sino también por sus aplicaciones a otros muchos problemas relacionados con la contaminación de la atmósfera. El hecho de que determinadas especies de plantas puedan sufrir por la acción de ciertos contaminantes en concentraciones demasiado bajas para ser fácilmente detectables por los instrumentos actuales o por los análisis químicos tiene interés para la identificación de esos contaminantes. Zimmerman* observa que las plantas sufren daños ante concentraciones de etileno de sólo una parte por 100 millones, concentraciones que para los químicos son difícilísimas de detectar.

Con frecuencia los síntomas que presentaban las plantas han sido la primera indicación de un problema de contaminación atmosférica en una zona. Como la vegetación presenta síntomas característicos y fácilmente observables cuando está expuesta a bajas concentraciones de determinados contaminantes, puede servir como indicador de contaminación atmosférica y como arma importante para las encuestas sobre el terreno. No obstante, dado que la reacción de una planta ante una concentración dada depende en gran medida de una serie de factores mesológicos, la vegetación no permite vigilar en todos los casos la contaminación de la atmósfera.

El estudio de la vegetación en las encuestas sobre el terreno tiene un lugar determinado para valorar el problema de la contaminación atmosférica. Las limitaciones de estas encuestas son evidentes, si bien se ignoran con frecuencia. La primera limitación reside en que sólo se pueden reconocer e identificar por los efectos de unos cinco contaminantes importantes: el dióxido de azufre, el fluoruro, el etileno y dos miembros del complejo "smog". La segunda limitación depende de la existencia de variedades susceptibles en una fase de desarrollo susceptible en el momento de la exposición a concentraciones suficientes para afectarlas. La tercera limitación es que el observador debe hallarse en el terreno en el momento oportuno para observar los síntomas después de que éstos se hayan presentado y antes de que otras alteraciones hayan venido a encubrirlos. Debemos siempre recordar que la

* R.E., Zimmerman, General Session on Agricultural Panel Proc. of the United States Technical Conference on Air Pollution (Nueva York, McGraw Hill Book Co., Inc., 1952)

vegetación es un receptor de reacción variable dependiente de una serie de condiciones previas. La observación de unos daños identificables como causados por un contaminante determinado puede demostrar la existencia de un problema significativo de contaminación atmosférica, pero la no identificación de esos síntomas no excluye necesariamente la presencia de un problema significativo de contaminación.

Las plantas tienen asimismo su utilidad en la vigilancia de la contaminación de la atmósfera. En este caso se presentan más o menos las mismas limitaciones que cuando se van a emplear para las encuestas. Se ha discutido con frecuencia la conveniencia de emplear como instrumento de vigilancia o bien plantas nativas específicas o bien otras especialmente plantadas con ese fin. De todas formas, si no se tienen debidamente en cuenta todos los factores que pueden modificar la respuesta de la planta (que es el instrumento) al contaminante, los datos obtenidos no serán fidedignos. Con el fin de que proporcione datos fidedignos, el sistema vegetal de vigilancia exige protección y cuidados, y los datos de él obtenidos deben interpretarse con un conocimiento completo de la situación y evaluando todos los factores que pueden influir en la respuesta. A este respecto el caso es el mismo con cualquier otro instrumento de vigilancia.

Para el meteorólogo tienen gran interés el empleo de las plantas como seguidores del transporte y la dirección en la atmósfera. Las observaciones sobre daños en las plantas y condiciones meteorológicas pueden servir para la identificación de las fuentes de contaminantes. Esto es especialmente interesante cuando se trata de daños acumulativos (como por ejemplo, los que provocan los fluoruros). Cuando se conocen las fuentes de las emisiones, las lesiones de las plantas y las condiciones meteorológicas, pueden analizarse los mecanismos de dilución.

Efectos de los contaminantes sobre el crecimiento de las plantas y la productividad

La detención del desarrollo y la reducción de la productividad de las plantas por la contaminación atmosférica dependen en gran medida de los mecanismos por los que los contaminantes afectan la fisiología de la propia planta. Estas influencias desfavorables pueden afectar a algunos o a todos los procesos normales esenciales para el desarrollo de la planta, como la fotosíntesis, la respiración, la transpiración, la permeabilidad celular, etc.

La fotosíntesis es el proceso generador de la materia orgánica a partir del dióxido de carbono y del agua, con la energía de la luz. La reducción de la eficacia de la fotosíntesis da lugar a la disminución de los productos fotosintéticos, que son los que constituyen todas las sustancias secas y productos de las plantas. Según Todd y colaboradores*, la lenteja de agua (Lemna minor) fumigada (es decir, expuesta a la acción de un contaminante) con 0,2 ppm de oxidante** (hexeno ozonado) manifestaba claras lesiones y su fotosíntesis quedaba reducida en un 10% aproximadamente al cabo de cuatro horas y en un 67% después de 24 horas de exposición. La destrucción de clorofila que puede inhibir la fotosíntesis era de un 4% y de un 49%, respectivamente. La lenteja de agua fumigada con 1,0 ppm de ozono sufría una reducción del 5% de su fotosíntesis al cabo de cuatro horas y de un 38% al cabo de veinticuatro horas de exposición. La reducción de clorofila era de un 5% y de un 40% respectivamente. Esto indica que la naturaleza del oxidante puede influir en la reducción de la fotosíntesis y, en último término, en el desarrollo de la planta y su productividad. Los mismos autores observaron que la fumigación del limón con oxidante provocaba una aceleración de la respiración, proceso por el que se utilizan los productos fotosintéticos para liberar energía, que se emplea en otros procesos vitales. No se sabe hasta qué punto puede ser peligrosos el estímulo de la respiración, pero sin duda da lugar a un consumo innecesario de hidratos de carbono. Erickson y Wedding*** que realizaron experiencias de fumigación del Lemna minor con hexeno ozonado, afirman que "la inhibición de la fotosíntesis está en cierto modo relacionada con el aumento de la permeabilidad y la muerte final de las células, y la intensidad de la reducción de la fotosíntesis fue mucho más importante que las modificaciones de la conductividad".

Según Taylor**** la fumigación con "smog" artificial de plantones y esquejes de limón provocó un 25% aproximadamente de reducción de la transpiración, esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta.

* G.W. Todd, J.T. Middleton y R.F. Brewer, "Effects of Air Pollutants", California Agriculture, julio de 1956, vol. 10, No. 7, págs. 7-8.

** En todos los comentarios sobre concentraciones de oxidante los valores se refieren al método de medición basado en yoduro de potasio neutro amortiguado, expresados en ozono.

*** L.C. Erickson y R.T. Wedding, "Effects of Ozonated Hexene on Photosynthesis and Respiration of Lemna Minor". Am. Journal of Botany, enero de 1956, vol. 43, No. 1, págs. 32-36.

**** O.C. Taylor, "Air Pollution with Relation to Agronomic Crops: IV Plant Growth Suppressed by Exposure to Air-Borne Oxidants (Smog)", Agronomy Journal, 1958 vol. 50, págs. 556-558.

El crecimiento de los plántones de tomates, alfalfa y endivias sometidos a un ambiente de "smog" natural se redujo aun sin lesiones perceptibles en las hojas. Tampoco los plántones de tomates fumigados durante tres horas diarias con "smog" artificial mostraron daños visibles, pero, según comunicaron Hull y Went*, durante el día siguiente a la fumigación su velocidad de crecimiento se redujo en un 49%. Taylor** comunica que varias variedades de hojas de judía quedaron casi totalmente destruidas después de haber sido fumigadas durante un día con 0,15 a 0,20 ppm de oxidante, mientras que la petunia sometida diariamente al "smog" sintético sólo mostró ligeros daños en la hoja, si bien la velocidad de crecimiento durante las tres semanas que duró la exposición se redujo a casi la mitad y no se formó ningún capullo. Con "smog" natural se obtuvieron resultados similares, aunque fue menor la intensidad de las lesiones. En un ambiente de "smog" natural dejaron de desarrollarse un 60% de los capullos de la planta de tomate, mientras que las plantas que se habían mantenido en una atmósfera filtrada con carbón dieron frutos en casi todas sus flores. Unos esquejes de limón de Lisboa se fumigaron diariamente durante tres meses con 0,15 a 0,20 ppm de oxidante sintético, observándose al cabo de dicho tiempo que el peso total de la parte emergente se había reducido en un 31% aproximadamente y el peso en seco en un 35%, sin que nunca apareciesen las típicas lesiones causadas por el "smog", aunque al cabo de unos dos meses hizo su aparición la clorosis. Cayeron 133 hojas de las plantas fumigadas, mientras que las que se habían mantenido en cámaras no contaminadas sólo perdieron 14 hojas.

La supresión del crecimiento de la planta por la acción del bióxido de azufre se debe únicamente a la destrucción del tejido de las hojas, con la consiguiente pérdida de la superficie eficaz de fotosíntesis. Según Thomas***, como una primera aproximación al escaso número de cosechas investigadas, la reducción del rendimiento

* H.M. Hull y F.W. Went, "Life Processes of Plants as Affected by Air Pollution", Actas del Segundo Simposio Nacional sobre Contaminación de la Atmósfera (Los Angeles 17, California, Estados Unidos de América, 1952) págs. 122-128.

** O.C., Taylor, "Air Pollution with Relation to Agronomic Crops: IV Plant Growth Suppressed by Exposure to Air-Borne Oxidants (Smog)", Agronomy Journal, 1958, vol. 50, págs. 556-558.

*** M.D. Thomas, "Air Pollution with Relation to Agronomic Crops: I. General Status of Research on the Effects of Air Pollution on Plants - Agronomy Journal, 1958, vol. 50, págs. 545-550.

expresada como tanto por ciento del rendimiento de una cosecha normal, varía linealmente con el porcentaje del total de superficie foliácea dañada en el momento de la fumigación. Respecto a la alfalfa esta ley parece cumplirse con la fumigación en cualquier momento del crecimiento de la planta, y los efectos de las fumigaciones múltiples son aditivos, mientras que en el caso del trigo, la cebada, el tomate, el maíz y el algodón la reducción del rendimiento parece depender más bien de la fase del desarrollo de la planta en el momento de la fumigación. A la cebada apenas le afecta la fumigación practicada en un momento temprano de su desarrollo, pero, en cambio, si se practica en fases posteriores se destruyen todas las hojas y el rendimiento baja en un 40%. La reducción del rendimiento del trigo con la defoliación total en el momento de la fumigación varía entre un 8% si está en la séptima semana de su crecimiento y un 35% si está entre la décima y la decimocuarta. Si el trigo se ha plantado en un terreno suficientemente fértil, la reducción de su rendimiento es casi nula.

Katz y McCallum* han publicado sus estudios acerca de los efectos del dióxido de azufre sobre las coníferas y observan que los árboles cuyas hojas fueron dañadas tres años después tienen un desarrollo del follaje relativamente inferior. Los árboles más gravemente afectados presentaron ramas importantes parcialmente muertas. Tanto el pino de Oregón como el Pinus Strobus sufrieron una reducción del crecimiento en altura, más importante en el caso del primero, que se extendió a unos tres años después de haber sido tratados con dióxido de azufre; al cabo de este tiempo se recuperaron considerablemente.

El ácido fluorhídrico puede causar grandes daños a muy diversas plantas. Según Todd y Garber**, la supresión del crecimiento sólo tiene lugar cuando existen lesiones visibles y es probablemente consecuencia de la pérdida de la capacidad de fotosíntesis. La fumigación con diez partes por mil millones de ácido fluorhídrico durante un período de treinta días provocó la muerte de una parte considerable de

* M. Katz y A.W. McCallum, "The Effect of Sulfur Dioxide on Conifers, Air Pollution - Proceedings of United States Technical Conference on Air Pollution, Capítulo 8, págs. 84-94 (Nueva York, McGraw-Hill Book Co., 1952).

** G.W. Todd y M.J. Garber, "Some Effects of Air Pollutants on the Growth and Productivity of Plants, The Botanical Gazette, diciembre de 1958, vol. 120, No. 2, págs. 75-80.

las hojas de distintas variedades de vidas, con la consiguiente reducción de su crecimiento. Los gladiolos sometidos a la misma fumigación sufrieron una reducción en su producción de flores. Thomas y Hendricks* observan que la pérdida de las hojas de frutales como el manzano, el albaricoquero, diversas especies de ciruelo, el melocotonero y la higuera puede llegar al 25 o incluso al 50% cuando la mitad de las hojas han quedado lesionadas por el ácido fluorhídrico, con pérdida a veces del fruto del primer año y falta de fructificación en los años siguientes. Adams y colegas** observan que las agujas lesionadas del pino Ponderosa sólo alcanzan las tres cuartas partes de su longitud normal si el daño ha tenido lugar antes de que hubiesen alcanzado su desarrollo completo y ven además que tienen una vida más breve.

Los aerosoles ácidos y las nebulizaciones tóxicas dejan máculas de mayor o menor tamaño en la superficie superior de las hojas y originan daños a los frutos, mientras que las partículas sólidas, como por ejemplo los polvos de carbón y cemento, son causa a veces del ensuciamiento de frutas y verduras.

En terrenos contaminados con materiales como el plomo o el arsénico pueden recogerse cosechas que sean tóxicas para el hombre o para los animales. Además esos suelos suelen tener una productividad inferior. El Profesor H.V. Warren de la University of British Columbia y la Srta. Hellen Cannon de la U.S. Geological Survey han estudiado la captación por las plantas del plomo contenido en el terreno. Las plantas cultivadas en condiciones normales tienen sólo de 10 a 75 ppm de plomo, mientras que las que han crecido cerca de importantes depósitos de mineral pueden alcanzar concentraciones hasta de 4,000 ppm. También se encuentran concentraciones superiores en las plantas que han crecido en una atmósfera de "smog" ciudadano, así como en campos situados a menos de 50 pies de una carretera principal. En este último caso, se cree que el fenómeno es debido a la contaminación por los tubos de escape de los automóviles.

* M.D. Thomas y R.H. Hendricks, "Effect on Air Pollution on Plants, Air Pollution Handbook, Capítulo 9, págs. 9-1 - 9-44 (Nueva York, McGraw Hill Book Co., Inc., 1956).

** D.F. Adams, D.J. Mayhew, R.N. Gnazy, E.P. Richey, R.K. Koppe y I.W. Allen, "Atmospheric Pollution in Ponderosa Pine Blight Area", In. Eug. Che., 1952, vol. 44, págs. 1.356-1.365.

Los estudios de Guderian y Colegas* y de Treshow** constituyen un excelente resumen de los conocimientos existentes sobre la observación y evaluación de estos fenómenos, y Landau y Brandt*** se ocupan del problema de la evaluación de las pérdidas económicas. Dugger y Colegas**** y McCune y Colegas***** plantean algunos de los problemas que ofrece el estudio de las reacciones fisiológicas y bioquímicas. Heck y colegas***** examinan el problema de la evaluación de la influencia de otros factores mesológicos sobre la respuesta de las plantas a los contaminantes atmosféricos.

No se sabe, y quizá sea imposible saber, cuál es la pérdida total que para la economía supone el daño que a las plantas causa la contaminación de la atmósfera, pues además de los daños causados por la destrucción de las plantas existen otras muchas pérdidas directas e indirectas que son casi imposibles de valorar. Por ejemplo, no se sabe en qué medida se reduce el crecimiento. Tampoco se puede evaluar una reducción pequeña, pero probablemente significativa, de la asimilación previa a la recuperación; aunque se han hecho algunos estudios sobre los efectos de las partículas sólidas y su acción directa sobre la vegetación, es aún poco lo que se sabe sobre esta materia. Probablemente se podría a veces obtener una indicación aproximada de las pérdidas directamente consecutivas a la destrucción de las plantas en casos concretos. Brandt***** considera que en California, en la

-
- * R. Guderian, H. Van Haut y H. Stratmann, "Probleme der Erfassung und Beurteilung von Wirkungen gasformiger Luftverunreinigungen auf die Vegetation, Zeitschrift Pflanzenkrankheiten, 1960, Bd.67, S. 257-264.
- ** Mr. Treshow, J. Air Poll. Cont. Assoc., 1965, 15:266.
- *** E. Landau y C.S. Brandt, J. Amer. Statistical Assoc. (en prensa).
- **** W.M. Dugger, D.C. Taylor, C.R. Thompson y E. Cardiff, "The Effect of Light on Predisposing Plants of Ozone and Pan Damage, J. Air Poll., septiembre de 1963, 13 (9), págs. 63-87.
- ***** D.C. McCune, L.J. Weinstein, J.S. Jacobson, A.D. Hertagh y A.E. Hitchcock, Documento 65-99 presentado a la 58a. reunión anual de la APCA, Toronto, Canadá, junio de 1965.
- ***** W.W. Heck, J.A. Dunning y I.J. Hindawi, J. Air Poll Control Assoc., 1965, 15:511.
- ***** C.S. Brandt, "Effects of air pollution on plants" Air Pollution, vol. 1, capítulo 8, (Nueva York, Academic Press, 1962) págs. 255-281.

región de los Angeles, las pérdidas alcanzan una cifra de 6 a 10 millones de dólares anuales. No obstante, observa que "en esta evaluación no se incluyen los posibles efectos sobre el crecimiento, sobre el valor de los productos de los pequeños huertos particulares, las pérdidas en plantas ornamentales y otros efectos marginales". Darley y cols.* calculan que en los Estados Unidos de América se producen unas pérdidas anuales de más de 25 millones de dólares. Thomas y Hendricks** calculan que las pérdidas causadas en el algodón de Texas a consecuencia del rociamiento de los arrozales situados por lo menos a 15-20 millas del campo de algodón más próximo ascienden a 200.000 dólares. En el Canadá millones de libras de tabaco curado al humo pierden todo su valor comercial todos los años a causa de la contaminación por oxidante, habiéndose alcanzado en 1957 la cifra de seis millones de libras perdidas. La mayor parte de estas pérdidas tienen lugar en un tercio aproximadamente del total de la superficie cultivada de tabaco. Un cultivador perdió dos tercios de su cosecha, mientras que otros muchos han perdido de un tercio a la mitad.

Aun cuando el problema se ha estudiado intensivamente y se han hecho bastantes progresos, nuestros conocimientos sobre la materia aún dejan mucho que desear. Todavía se conocen mal gran número de facetas del problema de la contaminación atmosférica. No se conoce bien ni cuál es la naturaleza de la mayor parte de los contaminantes llevados por el aire ni cuáles son sus efectos exactos sobre la vegetación. Además, todavía no se ha podido establecer una relación clara entre determinadas lesiones visibles - alteraciones necróticas y/o cloróticas - y los contaminantes atmosféricos responsables. Por otra parte, se sabe que determinados contaminantes provocan alteraciones peor definidas de la velocidad de crecimiento, de la floración, de la fructificación y de otros fenómenos fisiológicos. Este tipo de lesiones está mucho más extendido de lo que se suele suponer. Los daños fácilmente observables pueden constituir la única indicación general, pero no una verdadera medición, del daño total que los contaminantes causan a la vegetación. Existen otras insuficiencias consecutivas a la falta de un instrumental fidedigno y preciso que permita hacer muestreos y análisis de los distintos productos químicos y medir los parámetros meteorológicos más importantes que intervienen en este problema.

* E. Darley, W.M. Dugger, J.B. Mudd, L. Ordín, O.C. Taylor y E.R. Stephens, "Plant Damages by Pollution Derived from Automobiles", Archives of Environmental Health, 1963, vol. 6, págs. 761-770.

** M.D. Thomas y R.J. Hendricks: "Effect of Air Pollution on Plants", Air Pollution Handbook, capítulo 9, págs. 9-1 (Nueva York McGraw Hill Book Co., Inc. 1956).

IX. NOTA DE AGRADECIMIENTO

Para la redacción del presente documento, además de los informes de distintos grupos de trabajo que se ocupan de la contaminación atmosférica, se han empleado textos de distintas publicaciones de la OMM, como "Difusión turbulenta en la atmósfera" (Nota Técnica No. 24 - Informe de un grupo de trabajo de la Comisión Técnica de Aerología de la OMM, 1958) y "Aspectos Meteorológicos de la Radiactividad atmosférica" (Nota Técnica No. 68, Suplemento de la Nota Técnica No. 24, 1965).
