

# MESAS REDONDAS ACADEMICAS

## LA CONTAMINACION ATMOSFERICA<sup>1</sup>

### I

#### INTRODUCCION

HORACIO JINICH<sup>2</sup>

EN LOS ÚLTIMOS años se ha observado un dramático cambio en la actitud del hombre hacia la ciencia y la tecnología. Podríamos decir que el romance ha terminado. Tuvimos la ilusión de que, gracias a ellas, el hombre había logrado salir de su abyecta condición animal. Gracias a la ciencia, pensábamos, lograremos derrotar el hambre, la miseria, las enfermedades y la violencia. Liberado de la maldición bíblica del trabajo agobiador el hombre dedicaría más y más de su tiempo y su energía al cultivo del cuerpo y del espíritu.

Bien otra ha sido la realidad. Las innegables e incesantes conquistas, cada día más fantásticas, de las que tanto nos enorgullecemos, han traído aparejadas, como consecuencia directa o indirecta de ellas mismas, nuevos proble-

mas y enormes peligros. Y es que al actuar con no poca soberbia sobre la Naturaleza, el hombre ha roto el delicado equilibrio del ecosistema de que forma parte. Ha destruido flora y fauna exterminando especies vivientes; está agotando rápidamente los recursos minerales; ha contaminado ríos y lagos; está subiendo la radiactividad del ambiente a concentraciones alarmantes; ha fabricado pesticidas cuya acción letal sobre las criaturas vivientes no puede ahora detener; desecha diariamente cantidades colosales de basura sin saber cómo disponer de ellas; ha hecho surgir el problema de la explosión demográfica; está envenenando el aire.

De todas las necesidades biológicas, la de oxígeno atmosférico es la más importante, y de todos los impulsos básicos, el de respirar es el más imperioso. Si la satisfacción del impulso respiratorio no ha sido objeto de atención de los economistas, sociólogos, políticos

<sup>1</sup> Mesa redonda presentada en la sesión ordinaria del 18 de febrero de 1970.

<sup>2</sup> Académico numerario, Instituto Nacional de la Nutrición.

y psiquiatras es porque, a diferencia de los alimentos y de los objetos sexuales, el aire había sido, hasta hace poco tiempo, abundante, fresco, gratuito y su utilización estaba libre de tabús.

El grado de contaminación atmosférica suele ser proporcional al nivel de desarrollo tecnológico de cada conglomerado humano; es por ende particularmente importante en las ciudades, donde surge como acompañante inevitable de la industrialización y de la existencia de grandes cantidades de vehículos impulsados por motores de combustión interna. Los efectos nocivos de la contaminación atmosférica son múltiples: desde el deterioro de los edificios y otras estructuras hasta el aumento en los costos de mantenimiento de la limpieza, desde el daño a los cultivos y a la vegetación ornamental hasta el descenso en el valor de la propiedad inmueble. Se ha calculado que el daño económico causado por la contaminación atmosférica asciende a enormes sumas de dinero.

Lo más grave de todo es el efecto de la contaminación atmosférica sobre la salud. Su patogenicidad está fuera de discusión, como se verá en el curso de esta exposición. Cuatro tipos de observaciones demuestran la conexión existente entre la contaminación del aire y el perjuicio a la salud. La primera es la correlación positiva que se ha encontrado entre aquélla y la excesiva mortalidad, durante lo que pudiera llamarse epidemias de contaminación atmosférica. La segunda es la demostración epidemiológica que demuestra una correspondencia directa entre la

frecuencia de enfermedad y los niveles de contaminación del aire, en grupos grandes de población, estudiados durante largos períodos de tiempo. El tercer tipo de observaciones es clínico, derivado del estudio de individuos. Y, finalmente, existen los datos de laboratorio, obtenidos mediante experimentos en animales. Sabemos pues, que la contaminación del aire puede ser letal si ocurre en concentraciones elevadas y que a concentraciones menores, es agente causal en la producción de enfermedades crónicas. Si bien es verdad que falta aún mucho por conocer, es clara la necesidad de actuar ya.

Decíamos que la contaminación atmosférica es una consecuencia del desarrollo científico y tecnológico. Pues bien, el hombre no puede dar marcha atrás; no puede retornar a la era pre-científica de su evolución histórica. Pero la ciencia y la tecnología, responsables del problema, pueden ayudar a resolverlo: los recursos técnicos ya existen. Su costo es elevado pero la salud vale mucho más. Lo que hace falta es un esfuerzo coordinado de todas las fuerzas vivas de la sociedad. Los médicos, guardianes tradicionales de la salud, debemos ser los primeros en preocuparnos del problema, debemos educar a la población, movilizar la opinión pública, asesorar a las autoridades y ser pioneros en los esfuerzos concertados para resolverlo o, cuando menos, atenuarlo.

La Academia Nacional de Medicina, organismo consultor del Gobierno Federal, consciente de todo esto, ha deci-

dido reunir a un grupo de expertos en el problema de la contaminación atmosférica para escucharlos, estudiar sus informes y sugerencias y rendir un dic-

tamen a los organismos indicados para sugerir medidas correctivas y ahondar las investigaciones que tanta falta hacen.

## II

### ASPECTOS METEOROLOGICOS DE LA CONTAMINACION EN LAS CIUDADES

SERGIO SERRA-CASTELÁN<sup>1</sup> y JOSÉ ARROYO-GARCÍA<sup>1</sup>

NO ES NECESARIO ser muy observador para notar que el grado de concentración de contaminantes atmosféricos en una ciudad varía cotidianamente, observándose días en que la atmósfera es más transparente y otros en que es más opaca, o dicho más técnicamente, el margen de visibilidad se modifica con el tiempo, aun sin la presencia de condensaciones acuosas. Esto ocurre a pesar de que las fuentes de contaminación permanecen constantes, de no ser por la tendencia que tienen a un continuo aumento.

En el mundo se han registrado varios casos en que por días el aumento en la concentración de contaminantes en las ciudades ha alcanzado dimensiones no sólo perjudiciales para la salud del hombre, sino inclusive mortales. Basta citar los tres casos más notorios que han producido varias muertes como consecuencia de un aumento in-

esperado de contaminación atmosférica: el del Valle de Meuse en Bélgica, donde en diciembre de 1930 perecieron 60 personas, el del pueblo de Donora, Pennsylvania, donde en octubre de 1948 perecieron 20 personas y el de Londres, donde en diciembre de 1952, se ha calculado que perecieron 4,000 personas. Estas cifras de fallecimientos, corresponden a aquellos que pudieron ser atribuidos directamente a los efectos de la contaminación del aire que se respiró en esas fechas en los lugares mencionados. Se estima que además la salud de miles de personas fue afectada en forma seria pero que la gran mayoría de ellas se recuperó en forma total o parcial, posteriormente a la fecha del incidente.

Debido a su notoriedad los tres incidentes mencionados se han estudiado con detalle, y se ha comprobado que la situación meteorológica fue bastante similar en los tres casos. Coexistieron vientos ligeros, niebla y una inversión de temperatura a altura menor que

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

la de las montañas que rodean esos lugares, y persistió esa situación por varios días. Se pudo concluir que esos desastres se debieron a la combinación de fuentes de contaminación y factores meteorológicos adversos a la difusión adecuada de esos contaminantes en la atmósfera, y se les consideró como una consecuencia lógica del vicio de utilizar la atmósfera como lugar para desalojar los desechos de combustiones incompletas y otras reacciones químicas, sin estudiar a fondo las posibilidades de que estos contaminantes se concentren en determinadas circunstancias, propiciadas por los movimientos o falta de movimientos del aire.

#### LA CONTAMINACIÓN EN LAS CIUDADES

Los principales agentes contaminantes están presentes en las grandes ciudades y la cantidad en que se producen es en grado sumo función del número de habitantes de esas ciudades, así como de sus actividades y el control o falta de control de ellas. Se usa la atmósfera como un lugar de depósito de tamaño infinito en donde se pueden arrojar los desperdicios. La atmósfera no es infinita, a pesar de que tiene dimensiones muy grandes comparadas con las de las ciudades. Si bien la atmósfera es una capa que se extiende sobre toda la Tierra y tiene una altura que alcanza cientos de kilómetros, el 99.9% de su masa se encuentra en los primeros 85 km, y el 50% sólo en los primeros 5 km. Aún si todos los contaminantes se distribuyeran homogéneamente en estos primeros 5 km de la atmósfera, su concentración con las fuentes ac-

tuales de contaminación todavía estaría muy lejos de ser peligrosa para la Humanidad. Pero únicamente pequeñas cantidades de contaminantes llegan a alturas mayores de 3 km sobre el nivel del suelo, y en algunos casos el humo, gases y nieblas se restringen a una altura de unos cuantos cientos de metros. Si en los lugares de muchas fuentes de contaminación como son las ciudades, se cuenta además con factores que limitan la libre difusión de contaminantes, es decir con obstáculos físicos que impiden la libre circulación del aire, tales como las montañas, inversiones de temperatura y vientos muy ligeros, la concentración en esos lugares aumenta, ya que los contaminantes sólo se están difundiendo en una pequeña porción de la masa atmosférica y no en toda su extensión.

#### MOVIMIENTOS DEL AIRE

Los contaminantes se pueden difundir siempre y cuando no haya movimientos propios del aire que tiendan a evitar esa difusión, que en forma natural se efectúa en los lugares de mayor a los de menor concentración, pero en condiciones anormales los lugares de mayor concentración los retienen.

En tanto sean más intensos los movimientos horizontales, facilitan más la difusión del tipo llamado de "remolino"; sin embargo, si los remolinos son grandes, a pesar de que mueven la contaminación, la transportan sin dispersarla. Existen en la atmósfera "remolinos" grandes, que en meteorología llamamos sistemas sinópticos y de los cuales los más conocidos ejemplos son

los ciclones o centros de baja presión y circulación en sentido contrario al de las manecillas del reloj, y los anticiclones o centros de alta presión con circulación en el sentido de las manecillas del reloj. El sentido de las circulaciones es el observado en el Hemisferio Norte.

Además de difundirse debido a movimientos horizontales, los cuerpos extraños en la atmósfera tienden a difundirse en sentido vertical; si los movimientos verticales son hacia abajo, éstos limitan la difusión hacia arriba, produciendo la concentración de los niveles próximos al terreno; sólo los movimientos hacia arriba facilitan la difusión. Los movimientos verticales hacia arriba o hacia abajo están asociados con sistemas meteorológicos; en primera aproximación, en los ciclones los movimientos son hacia arriba y en los anticiclones hacia abajo; estos últimos sistemas generalmente también tienen vientos de menor intensidad. Precisamente los tres incidentes fatales mencionados antes, estuvieron asociados con situaciones anticiclónicas.

Las corrientes verticales sobre las ciudades son más intensas que sobre el campo independientemente de la hora del día, debido a las corrientes de tipo convectivo que se producen por las diferencias de calentamiento en las distintas superficies.

Además hay otro factor muy importante en los movimientos verticales, lo que se conoce con el nombre de estabilidad termodinámica, lo cual significa que en una atmósfera estable no se facilitan los movimientos verticales hacia arriba, y una atmósfera inestable pro-

picia los movimientos verticales hacia arriba dependiendo de su grado de inestabilidad. El grado de estabilidad depende de la distribución de la temperatura con la altura; usualmente la temperatura disminuye con la altura, y cuando la temperatura aumenta con la altura se dice que existe una "inversión de temperatura". En una inversión de temperatura los movimientos verticales se suprimen, ya que es una situación de estabilidad atmosférica y si la inversión está cerca de la superficie materialmente atrapa a todos los contaminantes evitando su difusión y estas inversiones son muy comunes en las ciudades y sobre todo cuando hay situaciones anticiclónicas.

La lluvia juega también un papel importante en la contaminación, ya que "lava" la atmósfera, es decir las gotas absorben parte de la contaminación y al caer a tierra depositan esa contaminación en el suelo, ventanas y en general en otros objetos, pasando el problema de aire a la tierra, pero desde luego disminuyendo la concentración de contaminación atmosférica.

#### MÉXICO COMO CASO PARTICULAR

La ciudad de México por estar a una altura de 2,400 m sobre el nivel del mar, en una altitud tropical y además situada en un valle, presenta características muy particulares, ya que en latitudes tropicales los sistemas clásicos de ciclones y anticiclones tienen menos intensidad que en las latitudes extratropicales, pero los fenómenos convectivos tienen mayor intensidad. Para saber con detalle todas las características mi-

crometeorológicas son necesarias varias estaciones meteorológicas de superficie en distintos rumbos de la ciudad y también varios instrumentos para detectar la distribución vertical de la temperatura, así como también varias estaciones monitoras de muestreo de los distintos contaminantes.

Se ha estudiado que en términos globales la visibilidad promedio en la ciudad de México, ha ido disminuyendo año con año, pero no se han realizado estudios de correlación, de concentración de contaminantes, con los distintos parámetros meteorológicos. Esto es una necesidad urgente en la ciudad de México y regiones aledañas, ya que al presente, por sus características peculiares, es muy poco lo que se conoce de la concentración de la contaminación en México y sus relaciones en distintas condiciones meteorológicas; sin embargo, como ejemplo de estas relaciones, a continuación se comenta un caso muy reciente de reducción de la visibilidad. Este caso, a pesar de las horas en que tuvo lugar no pasó desapercibido para muchas personas de esta ciudad. Fue el que ocurrió en las últimas horas del 24 de diciembre del año de 1969 y primeras 5 horas del día siguiente. En el intervalo anterior hubo partes de la ciudad, como el Aeropuerto Internacional, donde la visibilidad se redujo a 100 m por humo, polvo y otros productos de la combustión. Desde el punto de vista meteorológico este fenómeno se puede atribuir a los factores siguientes:

1. Velocidad del viento superficial muy baja o calma.
2. Inversión de temperatura sobre la ciudad.

Los factores anteriores están confirmados con las observaciones meteorológicas hechas en las fechas mencionadas; en esas observaciones la velocidad máxima del viento observada y/o registrada fue de 0.2 m/seg, y el radio-sondeo de las 18:00 horas, del 24-XII-69, presenta una inversión de la temperatura en la altura, aproximadamente a 5,570 m sobre el nivel del mar (3,260 m sobre la superficie del D.F.), la cual subsidió hasta 4,600 m.s.n.m. (2,290 m.s. D. F.), en las 24 horas siguientes, según se pudo ver en el radio-sondeo de las 18:00 horas del día 25-XII-69. Esta inversión que prevaleció sobre el Valle de México, aunada a la distribución de la temperatura con la altura a partir de la superficie restringió al máximo el movimiento vertical del aire que se encontraba cerca de la superficie, obteniéndose como resultado que la concentración de contaminantes en la atmósfera se haya elevado a tal grado ese día, que la visibilidad se redujo a límites más allá de los normales por este tipo de reductores. Al fenómeno anterior, indiscutiblemente, coadyuvó la gran cantidad de fogatas que, en diferentes partes de la ciudad, hicieron nos habitantes y a la quema de petardos.

Casos similares al ejemplo anterior se presentan, por lo general, entre las 06:00 y 08:00 horas, intervalo en el que por el débil calentamiento solar, la inversión de temperatura tiende a persistir cerca de la superficie. Empero, a medida que el calentamiento continúa, la inversión de temperatura tiende a desaparecer y el gradiente de temperatura se vuelve estable o inestable.

El intervalo anterior fue tomado como dato promedio de las observaciones de la visibilidad diarias hechas en el Observatorio de Tacubaya, de las 06:00 a las 18:00 horas. (En algunos días hay observaciones hasta las 20:00 horas).

De esas mismas observaciones, se vio que la visibilidad máxima ocurre, generalmente, entre las 17:00 y 18:00 horas. Las visibilidades máximas registradas, por lo común, están asociadas con situaciones inestables o se manifiestan después de una precipitación más o menos fuerte.

En el primer caso (inestable), las impurezas en la atmósfera son acarreadas por las corrientes convectivas hasta niveles muy altos, permitiendo que la cantidad de los polulantes en las capas atmosféricas cercanas a la superficie disminuya y mejore en la visibilidad por lapsos considerables.

En el segundo caso (precipitación), las impurezas en el aire son arrastradas por las gotas de la lluvia hasta la superficie, lavando la parte de la atmósfera donde ocurre este fenómeno meteorológico; pero, en cuanto cesa la lluvia y posteriormente empieza la evaporación, los polulantes vuelven a flotar a diferentes niveles y la visibilidad se empieza a reducir.

Otro hecho que se observó de los datos obtenidos fue el que, por regla general, la visibilidad mejora o tiende a sus valores máximos en la ciudad de México, los domingos. Causa de lo anterior, sin duda alguna, se debe a la disminución de la actividad fabril y al reducido número de vehículos de combustión interna en uso durante esos días.

El párrafo anterior se puede confirmar con lo observado el domingo 28-XII-69, día en que la visibilidad mejoró notablemente, considerando que el día 24 de ese mes se registró una visibilidad muy reducida. Las observaciones de ese día revelaron que, a pesar de haber estabilidad, y tener una inversión de temperatura en la altura (entre los 560 y 500 mb), la visibilidad fue buena en todo el día; ya que, varió de 2,400 m (registrada a las 06:00 horas) a 12,500 m (asentada a las 18:00 horas).

El aumento en la visibilidad ese día, aun con las condiciones antes expresadas, se debió a que el viento en superficie alcanzó una velocidad de 6 kt, la inversión era muy débil y la altura a la que se encontraba (entre los 5,900 km. y 4,950 m s.n.m.) fue considerable.

#### PAPEL DE LA METEOROLOGÍA EN UN PROGRAMA DE ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

De lo expuesto antes y en particular del ejemplo anterior se concluye que cualquier programa de investigación sobre contaminación atmosférica tiene que apoyarse fuertemente en la meteorología, tanto en su forma rutinaria de pronósticos locales, los cuales a su vez pueden ayudar a pronosticar la concentración de contaminantes, así como en estudios climatológicos, los cuales pueden dar información promedio muy útil para planeación y de investigación de difusión en distintas condiciones. Con estudios teóricos se ha empezado a comprender más el problema de con-

diciones que bloquean la difusión de contaminantes.

Con objeto de poder precisar con todo detalle qué condiciones meteorológicas propician sobre el Valle de México la concentración exagerada, como la descrita en el ejemplo anterior, se recomienda como pasos fundamentales:

- 1o. Análisis de los datos de dirección del viento en distintos rumbos de la ciudad y correlación con concentración de contaminantes; este estudio podría ayudar a planificar la localización menos dañina de las zonas industriales cercanas al núcleo de población.
- 2o. Correlación de sistemas meteorológicos con cantidad de contaminación y establecer como vía de se-

guridad un sistema de alarma para casos en que se pueda esperar concentración exagerada.

- 3o. Estudios de difusión de distintos contaminantes sobre el Valle de México, tanto a nivel teórico como experimental.
- 4o. Establecer un modelo de pronóstico de concentración probable, con el objeto de poder predecirla, con anticipación de 24 a 48 horas.
- 5o. Análisis químico de lluvia, para ver a que grado lava a la atmósfera.

Con ayuda del uso de la meteorología es de esperarse que México no sea registrado en los anales de la historia como otro lugar de tragedia fatal producida por la contaminación atmosférica.

### III

#### PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

ARMANDO BÁEZ<sup>1</sup>

LOS CONTAMINANTES del aire son de muy diversa clase; pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Sus propiedades físicas y químicas varían de acuerdo con su composición química, forma, tamaño de partículas, estado físico, y cambian de acuerdo con su ca-

pacidad para reaccionar unos con otros en el aire. Así, pueden sufrir oxidación, reducción, agregación, aglutinación, o ser fotosensibles, como algunos gases y aerosoles. Debido a la enorme variedad de los contaminantes sería sumamente difícil y largo, tratar de describir las propiedades de cada uno de ellos, por lo que se hace aquí solamente una breve descripción de algunos de los más

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional de Energía Nuclear.

importantes. Se les divide para tal fin en partículas dispersas (sólidos y líquidos) y gases.

#### PARTÍCULAS DISPERSAS

*Propiedades físicas.* Estas partículas pueden ser sólidas o líquidas, y se definen como agregados de tamaño mucho mayor que el de las moléculas, variando su diámetro de 0.002 a 500  $\mu$ . Dependiendo de este diámetro, las partículas pueden permanecer suspendidas en la atmósfera, desde segundos hasta meses. Su densidad varía con su composición química.

Sus tres propiedades físicas más importantes son:

a) Exhibir propiedades de superficie, tales como adsorción, nucleación, adhesión, impacto.

b) Presentar movimientos independientes de su composición, de los que el más característico es el movimiento browniano predominante en partículas menores de 0.1  $\mu$ ; existe además un movimiento de sedimentación, que llega a ser preponderante cuando el diámetro es mayor de 1  $\mu$ .

c) Tener propiedades ópticas, que explican los fenómenos de difracción y de dispersión de la luz; las partículas menores de 0.1  $\mu$  se comportan de acuerdo con la ley de dispersión de Rayleigh, en función de la sexta potencia del diámetro de la partícula. Las partículas mayores de 1  $\mu$  obedecen a la ley de los objetos macroscópicos, interceptando la luz o dispersándola en proporción a su área transversal.

Todos estos factores afectan profundamente la visibilidad del aire en zonas contaminadas.

*Propiedades químicas.* En vista de la gran cantidad de partículas existentes y de su muy variada composición, no es posible hacer consideraciones generales acerca de la interacción química de estas partículas dispersas. En general se puede decir que las reacciones que suelen ocurrir con más frecuencia son aquellas en que las partículas son menores de 0.1  $\mu$ , con lo que las colisiones son más probables. Algunas partículas sólidas o líquidas reaccionan con gotas de agua para formar sales o ácidos. Algunas reacciones necesitan de un catalizador que puede ser otro contaminante. En otras ocasiones la luz solar provee la energía suficiente de activación cuando la reacción no es directa. Un ejemplo de una reacción de este tipo lo tenemos en las olefinas y compuestos orgánicos en general.

Aunque queda fuera de los lineamientos de este trabajo mencionar los efectos toxicológicos de las partículas dispersas en la atmósfera, cabe mencionar que se describen por lo menos tres formas de acción:

a) La partícula puede ser intrínsecamente tóxica.

b) La presencia de una partícula inerte puede interferir con los efectos de "limpieza" o expulsión de otras partículas por el organismo.

c) La partícula puede actuar como transportador de material tóxico.

#### GASES

##### *Oxidos de azufre*

Tanto el  $\text{SO}_2$  como el  $\text{SO}_3$  con sus correspondientes ácidos,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y sales de encuentran presentes

en todas las atmósferas contaminadas, principalmente en aquellas en que predominan productos de la combustión de carbón fósil con un alto contenido de azufre.

*Propiedades físicas.* El  $\text{SO}_2$  es un gas no inflamable, no explosivo, sin color, con olor característico irritante, fácil de detectar a concentraciones de 0.3 ppm en el aire; y muy soluble en agua a razón de 11.3 g/100 ml a 20°C.

*Propiedades químicas.* Gaseoso bajo condiciones normales, puede actuar como agente oxidante o reductor; es muy susceptible de participar en reacciones, sobre todo en presencia de un catalizador o por acción fotoquímica para producir  $\text{SO}_3$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y las correspondientes sales.

Reacción fotoquímica del  $\text{SO}_2$ . En presencia de oxígeno y bajo la influencia de la radiación solar, el  $\text{SO}_2$  es activado en una reacción fotoquímica primaria que posteriormente lleva a la molécula a  $\text{SO}_3$  y a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en presencia de agua.

Experimentos de laboratorio diseñados con el objeto de conocer la interacción del  $\text{SO}_2$  con los hidrocarburos del aire a temperaturas variables, en que se utilizaron olefinas y parafinas, a temperaturas que variaron de 15 a 100°C y luz ultravioleta como fuente de irradiación, dieron lugar a un aceite de color amarillo pálido o incoloro con olor desagradable capaz de polimerizarse, compuesto de ácidos sulfínicos.

#### *Oxidos de azufre*

Los compuestos de nitrógeno son otros contaminantes que desempeñan un pa-

pel muy importante en las reacciones químicas y fotoquímicas que ocurren en la atmósfera. Tanto el NO como el  $\text{NO}_2$  son gases tóxicos de olor irritante y color amarillo verdoso. Aun a bajas concentraciones, el  $\text{NO}_2$  irrita los tejidos. Los óxidos de nitrógeno son emitidos por procesos industriales en que se generan altas temperaturas de combustión y donde participan el oxígeno y el nitrógeno del aire. Fuentes importantes de óxidos de nitrógeno son también los vehículos con motores de combustión interna.

Bajo condiciones atmosféricas normales, el NO es oxidado lentamente a  $\text{NO}_2$ , pero en presencia de ozono, este proceso se acelera. El  $\text{NO}_2$  es fuertemente activo; absorbe la luz ultravioleta y la visible que penetra las capas bajas de la atmósfera. En presencia de humedad ambiente, los óxidos de nitrógeno, forman ácido nítrico y nitroso. Sin embargo la transformación más importante que sufren se debe a reacciones fotoquímicas; la energía necesaria para estos procesos es suministrada por la luz solar. La fotodisociación del  $\text{NO}_2$  es una de las reacciones primarias más importantes en una atmósfera contaminada; se ha descrito también la formación de radicales libres a partir del  $\text{HNO}_2$ . Las reacciones primarias del  $\text{NO}_2$  son inmediatamente seguidas de una reacción secundaria, principalmente si existen contaminantes orgánicos. Una reacción de este tipo, en presencia de ozono, lleva al  $\text{NO}_2$  a la formación de un derivado orgánico identificado como nitrato de peroxiacilo. A este compuesto se le ha conside-

rado como responsable del lagrimeo y ardor de ojos y garganta, frecuentemente descritos en Los Angeles.

### Ozono

El ozono es una molécula constituida por tres átomos de oxígeno. Es un gas muy inestable, incoloro, de olor característico, tóxico a concentraciones altas y muy oxidante. El ozono se forma en la atmósfera debido a un proceso fotoquímico primario a partir de la molécula de oxígeno, con intervención de un tercer cuerpo, que puede ser cualquier átomo o molécula y que sirve como aceptor de energía para conservar el momento.

El ozono es parte normal de los constituyentes de la atmósfera superior debido a los procesos fotoquímicos mencionados anteriormente, con una región de máxima concentración alrededor de los 22 km de altura. Por procesos de difusión y fenómenos de turbulencia, parte de este ozono es transportado hacia las regiones inferiores de la atmósfera, donde alcanza concentraciones menores a 0.03 ppm.

En atmósferas contaminadas, gracias a procesos de oxidación fotoquímica el ozono es formado en grandes cantida-

des. Este tipo de fenómeno es conocido como *smog* fotoquímico. Entre las sustancias productoras de ozono se han encontrado ciertos hidrocarburos del tipo de olefinas, diolefinas, aldehidos y alcoholes. Esta producción de ozono se lleva a cabo por reacciones fotoquímicas donde interviene como catalizador el  $\text{NO}_2$ . El ozono se destruye por interacción con otros contaminantes.

La cinética química de una atmósfera contaminada es muy compleja, ya que son muchas las sustancias que son emitidas, cada una de ellas con una composición química específicamente definida. A estos factores se debe sumar la energía suministrada por la luz solar, ya que muchos contaminantes son fotosensibles, capaces de iniciar procesos fotoquímicos primarios, iniciándose una cadena de formación de nuevas especies, algunas de ellas más dañinas que los propios contaminantes primarios con los que se ha iniciado la reacción.

Es mucho lo que falta por investigar y estudiar, para comprender más a fondo, no sólo la naturaleza química de los contaminantes, sino también su interacción, su relación con el medio ambiente, y los efectos que causan en los seres vivos.

ASPECTOS EPIDEMIOLOGICOS DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICABLANCA RAQUEL ORDÓÑEZ<sup>1</sup>

ANTES DE ABORDAR el tema específico que se me señaló, parece conveniente anotar someramente algunos conceptos, a fin de centrar nuestra atención en aquello que realmente debe interesarnos en esta ocasión.

En primer término, es importante señalar que la mejor definición de contaminación atmosférica, para nuestros propósitos, es la propuesta por el Comité específico de la American Public Health Association.<sup>1</sup> Este organismo la enuncia como "la presencia en la atmósfera extramuros de uno o más contaminantes, en tales cantidades o de tal duración que resulte perjudicial para el hombre, los animales, las plantas o propiedades, o que simplemente interfiera con el disfrute, el confort o el curso normal de las actividades humanas". Como se ha hecho en algunas reuniones de Comités de Expertos de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) sobre esta materia,<sup>2</sup> también en nuestro caso puede ser conveniente excluir la contaminación natural que es causada por pólenes, sustancias de origen volcánico, productos de desintegración de rocas o polvos de origen extraterrestre, y limitarnos a analizar la

contaminación artificial o sea aquella motivada por la actividad humana.

Debemos de insistir que por definición ha de excluirse todo lo relativo a contaminación dentro de las industrias, ya que, además, los hallazgos del medio industrial no son aplicables al medio abierto y viceversa, por las siguientes razones:<sup>1, 3-7</sup>

a) el riesgo de exposición en el lugar de trabajo es sólo de 8 horas, mientras que para la población general lo es durante las 24 horas del día;

b) los trabajadores industriales suelen ser adultos en condiciones de salud relativamente buenas; en tanto que la población general está constituida, además, por grupos especialmente lábiles, tales como enfermos, ancianos y niños;

c) la exposición intermitente de las industrias, permite que el organismo se recupere de los daños sufridos durante los períodos en los que no hay exposición, mientras que esto no es posible cuando la población general está sujeta a contaminación continua;

d) dentro de los lugares de trabajo puede acondicionarse debidamente el aire, mientras que es difícil modificar el exterior, básicamente porque los factores meteorológicos son independientes de nuestro arbitrio;

e) el problema de higiene indus-

<sup>1</sup> Académico numerario. Departamento de Medicina Preventiva, Instituto Mexicano del Seguro Social.

trial se limita casi siempre a un contaminante, en tanto que la población general se halla expuesta a un complejo de contaminantes emitidos por las industrias, los automóviles, por diversas actividades domésticas y además por los resultantes de la contaminación fotoquímica.

Ahora bien, establecer la relación entre la contaminación de la atmósfera y la salud humana sólo es posible a través de estudios epidemiológicos, ya que su metodología ofrece en la actualidad las mejores posibilidades de establecer esa correlación salud-contaminación, evitando todos los errores de apreciación e inducción que frecuentemente vemos aparecer, aún en revistas serias especializadas.

Los estudios epidemiológicos requieren de buenos indicadores de la contaminación del aire y de excelentes índices de mortalidad y/o morbilidad; 1, 2, 8 pero mientras que para un fenómeno de contaminación aguda y grave es fácil y aún obvia dicha correlación a través de estudios retrospectivos<sup>1, 3, 9-11</sup> los fenómenos crónicos o sean los originados a largo plazo por contaminantes a bajas concentraciones, incluso subliminales, requieren estudios epidemiológicos muy serios, longitudinales o prospectivos, programados expreso, en virtud de que pueden influir múltiples factores y de que aún demostrando una relación contaminación-salud, es difícil probar que ésta sea de causa a efecto.<sup>8, 12</sup>

Las enfermedades sospechosas de estar relacionadas con la contaminación de la atmósfera a largo plazo son la bronquitis crónica, el enfisema y el cán-

cer primario del pulmón;<sup>2</sup> menos frecuentemente, algunos síntomas de irritación de las vías aéreas superiores y de los ojos. Además, creemos que por definición debieran incluirse las consecuencias psicológicas de la contaminación, aún la simple molestia sanitaria.<sup>1</sup> Por lo que se refiere al raquitismo, desde antaño se acepta que la acción tamizadora de los contaminantes del aire reduce la intensidad de la luz solar, y lo que es más importante, este efecto se observa en los rayos ultravioleta, de influencia antiraquítica bien conocida. Sin embargo, en un reciente estudio de la O.M.S. se insiste en qué es dudoso que la pérdida de rayos ultravioleta solares causada por la contaminación se pueda considerar un factor importante en la patogenia del raquitismo, ya que la ropa y otros factores culturales también impiden el contacto de esos rayos con la piel.<sup>3</sup>

Si bien se han realizado ya muchas investigaciones epidemiológicas a largo plazo de la contaminación del aire, ya no en relación con el raquitismo, sino con otros padecimientos como los crónicos respiratorios, la mayoría de ellas adolecen de serios defectos de planeación, ejecución o interpretación de resultados, lo que impide tomarlas en cuenta y hacer un estudio comparativo. Los estudios epidemiológicos más serios han sido desarrollados en Alemania, Checoslovaquia, Suecia, Noruega y el Reino Unido;<sup>13 a 16</sup> sobre todo los estudios realizados por este último país han aportado resultados extraordinariamente ilustrativos. Otros estudios comparativos se han seguido en la Unión Americana y el Japón.<sup>3, 17 a 21</sup> perte-

neciendo muchos de ellos a la epidemiología descriptiva. En algunos más, pocos aún, se ha intentado seguir a grupos de población, al mismo tiempo que se llevan acuciosos registros de los contaminantes, especialmente de partículas en suspensión y anhídrido sulfuroso. Entre estos estudios epidemiológicos longitudinales o prospectivos, destacan los de Shoettlin en Los Angeles y los de Lawther y Fletcher en Inglaterra.<sup>22 a 24</sup>

En nuestro país han aparecido algunas publicaciones que hacen mención de la contaminación atmosférica crónica y su supuesto daño a la salud.<sup>8, 9, 25 a 30</sup> Sin embargo, no existe ningún estudio epidemiológico longitudinal o simplemente descriptivo, que señale la correlación entre la exposición a largo plazo a los contaminantes y las enfermedades que puedan originar o agravar.

Como se dijo en párrafos anteriores, sólo al través de la metodología epidemiológica es posible establecer la mencionada relación sobre bases estadísticas inobjectables. Sabemos que es factible llevar al cabo investigaciones de este tipo en aquellos sitios de la República Mexicana que se supongan de mayor problema, por su ubicación, los fenómenos meteorológicos propiciatorios, su número de industrias o de vehículos de motor de combustión interna. En tal situación se encuentra en primer lugar el Valle de México y quizá Guadalajara, Monterrey y Tepic.<sup>6</sup> Para tales investigaciones es indispensable contar con buenos registros de contaminantes de la atmósfera, así como programar y establecer los registros de mortalidad

y morbilidad que para este fin específico se necesiten.

En relación con el primer requisito, a partir de agosto de 1967, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, a través de su Dirección de Higiene Industrial, comenzó a establecer estaciones de muestreo continuo en el Valle de México. En estas estaciones se determinan partículas en suspensión, polvo sedimentable y anhídrido sulfuroso, así como el grado de sulfatación ambiental.<sup>31, 32\*</sup> Diversas publicaciones señalan que éstas son las principales mediciones que deben efectuarse;<sup>2, 8, 33</sup> sin embargo, posteriormente quizá valdría la pena añadir el estudio del monóxido de carbono para evaluar mejor la contaminación producida por vehículos motorizados.<sup>4</sup>

En la actualidad se cuenta ya con 10 estaciones de muestreo normalizado con las características enunciadas, lo

\* A la fecha, los métodos de colección y análisis utilizados se hacen con apego a normas internacionales, tomando una muestra continua de aire las 24 horas del día, durante todos los días del mes. Existen 10 estaciones, que están situadas en Tacuba; Tlalnepantla, Estado de México; Centro de la ciudad; el Aeropuerto Internacional; la Villa Olímpica de T'a'pan; el Antiguo Observatorio de Tacubaya; la Colonia Portales; la Villa de Guadalupe; San Angel Inn y la Colonia Vallejo Industrial. La primera de ellas está en operación desde agosto de 1967 y la última se instaló a principios de 1970. Se muestrean y analizan partículas en suspensión como humos, anhídrido sulfúrico índice de sulfatación y polvo sedimentable. En algunas de ellas se determinan índices de corrosión y en la estación 1 se efectúan también determinaciones cíclicas de otros contaminantes. A mediados de enero de 1970 se instaló también una estación muestreadora en Ciudad Juárez, Chih., y se está en la fase terminal de acondicionamiento de una unidad móvil para el muestreo y el análisis de contaminantes.

que indudablemente constituye un gran avance para poder llevar al cabo investigaciones epidemiológicas que permitan definir las normas mínimas de pureza atmosférica.<sup>8</sup>

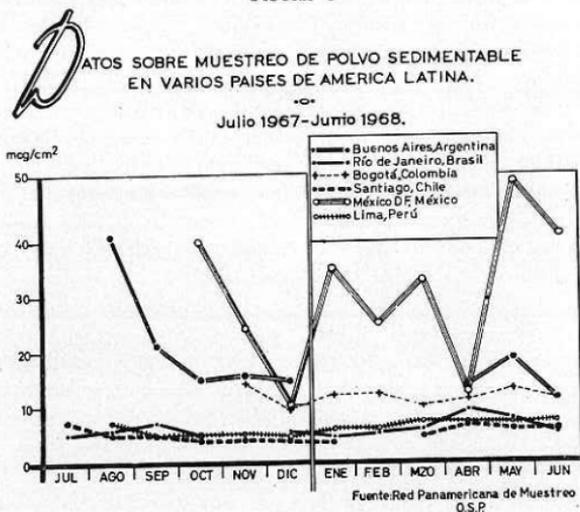
A continuación se presenta un estudio comparativo de los datos proporcionados por la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Oficina Sanitaria Panamericana (O.S.P.) en el período comprendido de julio de 1967 a junio de 1968. Como se dijo, en agosto de 1967 se empezaron a hacer las mediciones continuas en el Distrito Federal; se inició con el mismo

de mayor problema de contaminación del aire, con los de otras ciudades de América Latina.

Las mediciones de polvo sedimentable en  $\text{mg}/\text{cm}^2$  revelan que de los países que se mencionan, México presentó el mayor problema en ese año (Fig. 1).

Asimismo, en lo referente a partículas en suspensión, México muestra elevadas cifras promedio. Alzas importantes, aunque no tan sostenidas como las nuestras, se obtienen en Santiago de Chile y Buenos Aires, en sus meses de invierno que, por supuesto, no coinciden con el nuestro. Puede decirse que

FIGURA 1



con dos estaciones, siendo cinco las establecidas al terminar el lapso que se señala. Se comparan los resultados obtenidos en la Estación N° 3, ubicada en el centro de la ciudad de México, que como se verá, parece ser el sitio

en este renglón de polvo en suspensión; México compite aún con las ciudades tradicionalmente problemáticas como son las de Inglaterra y los Estados Unidos de América al haber reducido éstas sus promedios. Así por ejemplo, Lon-

dres ha bajado su promedio anual de partículas en suspensión de 1956 a 1966, de 160 mcg/m<sup>3</sup> a 100 mcg/m<sup>3</sup>; y la red de vigilancia de los E.U.A. señala un descenso de 120 mcg/m<sup>3</sup> a 107 mcg/m<sup>3</sup>, entre 1957 y 1965.<sup>4</sup> En la estación del centro de la Ciudad de México, en el lapso que se analiza en la gráfica, de octubre de 1967 a junio de 1968, se obtuvo un promedio de 158.2 mcg/m<sup>3</sup> y de 131.8 mcg/m<sup>3</sup> de noviembre de 1968 a octubre de 1969, cifras como se ve, superiores ya a las de Londres y de los E. U. A. (Figura 2).

Por lo que se refiere al dióxido de azufre, México también muestra promedios elevados entre los países de América Latina (Fig. 3); pero en comparación con otros países del mundo son relativamente bajos, en virtud de que en otras regiones, contrariamente a lo observado con partículas dispersas, la concentración del bióxido de azufre de la atmósfera ha tendido a aumentar, por ser más difícil de contrarrestar que el polvo. Así, Londres ha tenido valores constantes alrededor de 375 mcg/m<sup>3</sup> en el curso de 10 años y Nueva York aumentó en ese período de 560 mcg/m<sup>3</sup> a 840 mcg/m<sup>3</sup>.<sup>4</sup> México, en la zona más contaminada tuvo un promedio anual de 95 mcg/m<sup>3</sup> de octubre de 1967 a junio de 1968 y de 133 mcg/m<sup>3</sup> de noviembre de 1968 a octubre de 1969, según datos de la mencionada Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

En la figura 4 se muestran los promedios mensuales de cada una de las estaciones de muestreo normalizado que funcionaron en el Distrito Federal de

noviembre de 1968 a octubre de 1969, en relación con partículas en suspensión.

Aunque corresponden solamente a un año, puede observarse que comparativamente con otras zonas del Distrito Federal, el centro muestra el mayor problema. Pero sobre todo se aprecia la variación estacional que ha sido descrita, de contaminación más elevada en los meses de invierno (noviembre y diciembre de 1968, y enero y febrero de 1969). Hay que considerar que como lo señala la figura 5, algunos fenómenos meteorológicos que contrarrestan la contaminación tienen en México una distribución estacionaria exactamente inversa; los vientos, las lluvias y la temperatura descienden al mínimo en los meses de invierno, que precisamente son los de más alta contaminación.

Todos estos índices de contaminación deberían relacionarse, siguiendo la metodología epidemiológica, con índices de mortalidad y sobre todo de morbilidad de enfermedades comúnmente asociadas a la contaminación, y que fueron enunciadas en párrafos anteriores.

Para ello, ante todo habría que adoptar las definiciones internacionalmente aceptadas de las diversas enfermedades respiratorias crónicas,<sup>34</sup> ya que una de las mayores dificultades para la comparación internacional es precisamente la diferente denominación de padecimientos.

Parece ser que lo más conveniente es utilizar el cuestionario del Medical Research Council de la Gran Bretaña para el registro de síntomas respiratorios, tanto cuando se utilizan estadísti-

FIGURA 2



DATOS SOBRE MUESTREO DE POLVO EN SUSPENSION  
EN ALGUNOS PAISES DE AMERICA LATINA.

Julio 1967-Junio 1968.

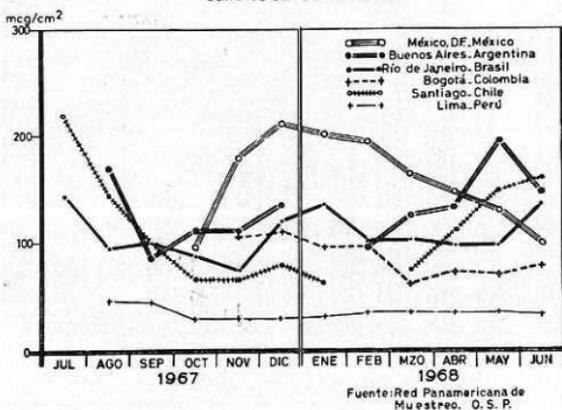


FIGURA 3



DATOS SOBRE MUESTREO DE ANHIDRIDO SULFUROSO  
EN ALGUNOS PAISES DE AMERICA LATINA.

Julio 1967-  
Junio 1968.

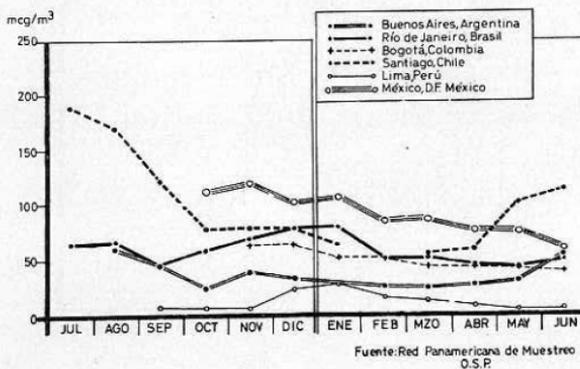


FIGURA 4

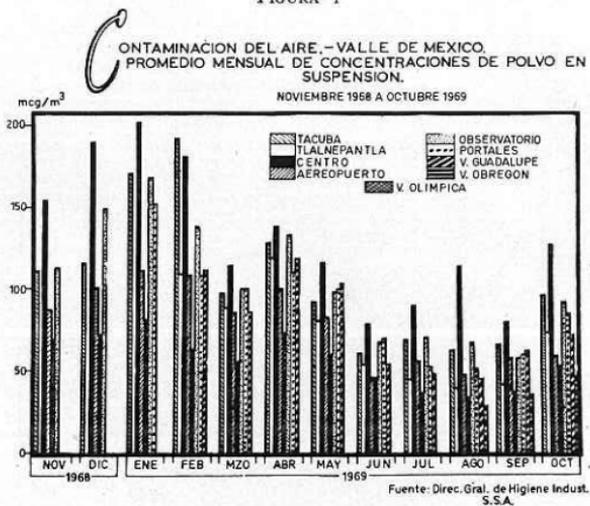
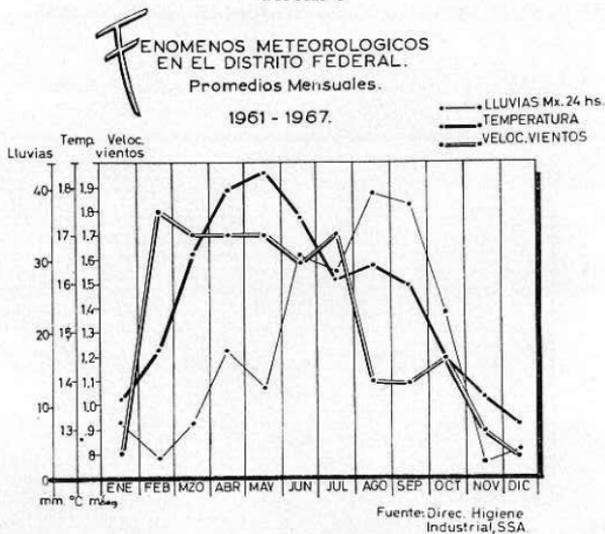


FIGURA 5

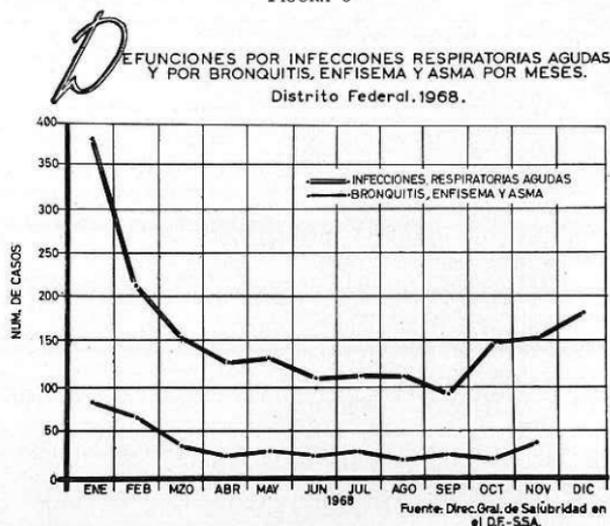


cas de mortalidad como de morbilidad.<sup>8</sup>

En virtud de que además de la contaminación atmosférica, pueden influir múltiples factores en estas enfermedades, han de tomarse en cuenta la edad, el sexo, la localización geográfica, la época del año, la condición socioeconómica, el tabaquismo, y la categoría laboral, etc., entre otros factores, cuando se trata de indagar la influencia relativa de cada factor, a través del cálculo de coeficientes de correlación parcial.<sup>8</sup>

ción de las variaciones diarias de la contaminación atmosférica, la de sus efectos sobre la salud de la población, especialmente sobre la morbilidad en determinados grupos lábiles y/o controlables de sus habitantes. Los primeros están constituidos básicamente por los niños, los ancianos y los enfermos cardiorrespiratorios. Los conglomerados fáciles de estudiar, aunque no ideales porque generalmente gozan de mejor salud, son el ejército, los carteros y los agentes de tránsito, de los que los dos últimos grupos se hallan más ex-

FIGURA 6



Es posible llevar a cabo el estudio de dos poblaciones idénticas en todos sus aspectos, excepto en el grado de contaminación del aire, con lo que se evita la influencia de factores ajenos al que se pretende estudiar. Asimismo puede realizarse, conjuntamente a la observa-

puestos a la contaminación atmosférica que el resto de la población.

La realización de una investigación epidemiológica longitudinal, siguiendo estos lineamientos generales y utilizando el cuestionario del British Medical Research Council, puede llevarse al cabo

en la ciudad de México, en virtud de que existiendo mediciones continuas de contaminante atmosféricos, sería posible establecer la correlación con bases científicas serias. Dicha investigación pudiera ser realizada por la Academia Nacional de Medicina, ya que ella cuenta con los recursos humanos y económicos que asegurarían el éxito de tan importante estudio.

En virtud de que a la fecha no se cuenta con estas investigaciones, se tratará al menos de presentar algunos datos de mortalidad por ciertos padecimientos respiratorios, que por supuesto de ningún modo demuestran la correlación requerida de contaminación-enfermedad, por no disponerse de los registros necesarios para una investigación retrospectiva seria, ni descriptiva ni analítica.

Tómense pues los datos que a continuación se presentan, únicamente como base para sentar una hipótesis que tratará de demostrarse con la investigación epidemiológica que se propone.

La distribución estacionaria de la mortalidad por infecciones respiratorias agudas, así como por bronquitis, enfisema y asma en el Distrito Federal, coincide con la curva que describe la contaminación atmosférica en esta región (Fig. 6). Como se ve, esta curva, al igual que la de mortalidad por esos padecimientos, asciende en los meses de invierno, observándose su máxima reducción en los de verano. Por supuesto que esto no indica que necesariamente exista una relación causal, ya que la simple variación de la temperatura podría originar esos cambios estacionarios en la mortalidad.

Para estudiar un poco más específicamente su relación con la contaminación, podemos evitar en parte este factor temperatura, así como otros que pudieran considerarse que influyen en la mortalidad por estas causas, de dos maneras diferentes.

Una de ellas consiste en revisar las tasas de mortalidad por algunas enfermedades respiratorias, en el curso de los años. Como es sabido, hasta hace algunos años dichas tasas iban descendiendo conforme mejoraba la atención médica, la notificación de las defunciones y las condiciones socioeconómicas de la población. Este decremento se sigue observando en la mortalidad por enfermedades respiratorias agudas, tanto en el medio urbano, como en el rural de la República, excepto en el Distrito Federal. (Tabla 1). Mientras que de 1964 a 1968, en las dos primeras áreas ha descendido en un 29.4% y 23.5%, respectivamente, en esos últimos años se ha visto volver a ascender el coeficiente del Distrito Federal en 18.7%.

Por lo que respecta a bronquitis crónica, enfisema y asma, el alza de la mortalidad se ha apreciado en todos sitios, pero mientras que en el medio urbano, exceptuando el Distrito Federal, el ascenso ha sido de 12.7% de 1964 a 1968 y de 18.9% en el medio rural, en el Distrito Federal es de 34.8%, es decir, el doble del observado en otros sitios (Tabla 2). Debe señalarse que se hicieron los ajustes necesarios para que no influyera el cambio de clasificación de enfermedades. Tampoco creemos que intervenga la composición por edades de la población,

dado que en cinco años no debió cambiar significativamente.

Se supone que la condición socioeconómica de la población del Distrito Federal ha ido mejorando en promedio, lo mismo que la atención médica, por lo

que es posible que no estén influyendo en esta alza. Tampoco debe estar interviniendo la temperatura, ya que ésta muestra una tendencia inclusive ascendente en las últimas décadas en sus valores mínimos y medios en el Distri-

TABLA 1

 MORTALIDAD POR INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS.  
REPUBLICA MEXICANA - 1964 - 1968.

AÑOS	Coeficiente por 100,000 habitantes :		
	MEDIO URBANO(+)	MEDIO RURAL	DISTRITO FEDERAL
1964	<u>12,6</u>	<u>22,5</u>	<u>23,0</u>
1965	11,7	20,7	25,5
1966	11,7	17,8	26,9
1967	10,5	19,5	26,4
1968	<u>8,9</u>	<u>17,2</u>	<u>27,3</u>
INCREMENTO O DECREMENTO 1964-1968	-29,4%	-23,5%	+18,7%

(+)EXCEPTUANDO DE

Fuente: Dirección General de Estadística, S.I.C.

TABLA 2

 MORTALIDAD POR BRONQUITIS CRONICA, ENFISEMA Y ASMA.  
REPUBLICA MEXICANA. 1964-1968.

AÑOS	Coeficiente por 100,000 habitantes :		
	MEDIO URBANO(+)	MEDIO RURAL	DISTRITO FEDERAL
1964	<u>12,6</u>	<u>21,1</u>	<u>4,6</u>
1965	12,1	19,0	4,7
1966	13,7	23,3	5,0
1967	11,1	21,1	5,4
1968	<u>14,2</u>	<u>25,1</u>	<u>6,2</u>
INCREMENTO 1964 - 1968	+12,7%	+18,9%	+34,8%

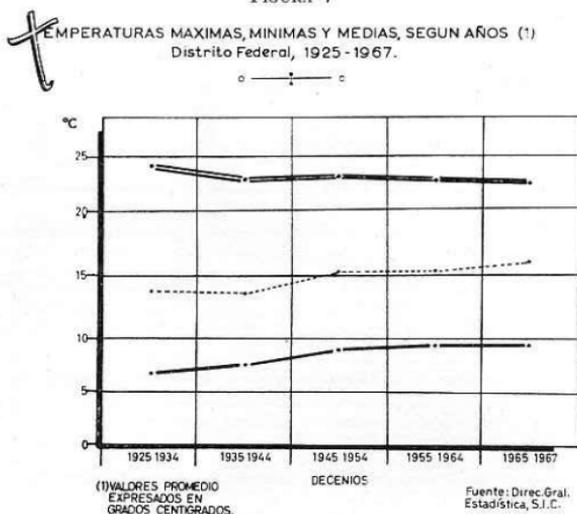
(+)EXCEPTUANDO D.F.

Fuente: Dirección General de Estadística, S.I.C.

to Federal (Fig. 7), y en los últimos cinco años se ha mantenido esta tendencia. En cambio dos factores importantes, relacionados con la mortalidad por estas enfermedades, parecen haber

traordinariamente, con el consiguiente incremento de contaminantes emitidos. Según los informes sobre valoración de la contaminación aérea en Tennessee, y del Stanford Research Institute, se

FIGURA 7



aumentado. A uno de ellos no podemos analizarlo por falta de datos: el tabaquismo. El otro es la contaminación atmosférica. No tenemos mediciones que directamente muestren su tendencia en varios años, pero indirectamente puede considerarse que se ha incrementado, a través de dos hechos: en primer lugar, en el Distrito Federal y zonas aledañas del Estado de México, la industrialización ha aumentado notablemente en los últimos años, según nos lo señala el Censo Industrial del país (Tabla 3); por otra parte, el número de vehículos de motor circulantes en estas áreas también ha subido ex-

TABLA 3

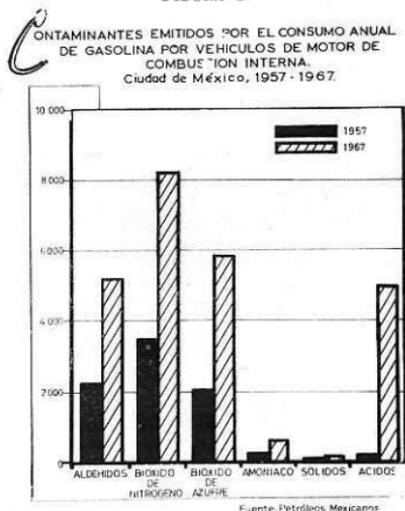
NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES EN ALGUNAS ENTIDADES, 1945-1965.

ENTIDADES	1945	1965	INCREMENTO 1945 A 1965
DISTRITO FEDERAL	2,375	6,801	308.8%
JALISCO	1,371	8,699	341.3%
PUEBLA	1,963	7,784	300.0%
MÉXICO	247	2,227	904.2%
VERACRUZ	1,776	7,068	298.0%
GUANAJUATO	1,221	6,023	393.1%
MICHOCAN	377	5,285	440.9%
NUEVO LEÓN	1,513	4,840	266.5%
SAN LUIS POTOSÍ	580	4,298	640.0%
YUCATAN	1,693	4,254	151.3%

Fuente: Censo Industrial del País.

puede calcular que dichos contaminantes se han duplicado o triplicado en los últimos 10 años, lo que se aprecia en la figura 8.

FIGURA 8

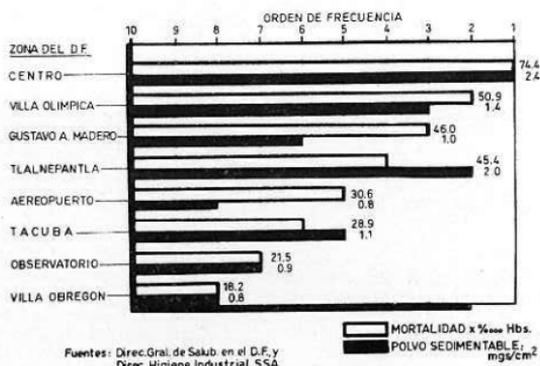


Esta correlación de ascenso de contaminación-ascenso de mortalidad por algunos padecimientos respiratorios, más acentuada en el Distrito Federal, ha de demostrarse con una investigación epidemiológica seria, ya que como decíamos, los datos aquí presentados sólo permiten establecer una hipótesis de trabajo.

Otra manera de tratar de examinar la mortalidad por padecimientos respiratorios, evitando algunos otros factores ajenos a la contaminación atmosférica que pudieran influir, consiste en comparar las tasas de mortalidad en sitios diferentes, con análoga influencia de esos factores coadyuvantes, excepto la contaminación. Según los datos de la figura 9, parece ser que hay coincidencia, ya que aquellos sitios del Distrito Federal con mayor problema de contaminación, son también aquellos que exhiben los mayores índices de

FIGURA 9

RELACION ENTRE MORTALIDAD POR CIERTAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS. Distrito Federal 1968-1969



mortalidad específica, como es el centro de la ciudad de México; en tanto que los que en un año mostraron ser los menos problemáticos por su contaminación, tales como Tacuba, Observatorio y Villa Obregón, tienen los coeficientes de mortalidad más bajos.

Como reiteradamente se ha dicho, estos datos tienen valor limitado en virtud de que los registros actuales no permiten establecer correlación sobre bases científicas; pero sí muestran que parece existir un problema de salud relacionado con la contaminación, que necesita determinarse a través de una investigación epidemiológica longitudinal que, como se dijo pudiera ser llevada a cabo por la Academia Nacional de Medicina.

Recuérdese que para establecer las disposiciones legales que fijen los límites admisibles de contaminación debe demostrarse que por encima de los mismos existe una relación entre sus variaciones y las de la mortalidad o morbilidad de los grupos más débiles de la población, hecho que únicamente es valorable a través de la epidemiología.

#### REFERENCIAS

1. Program Area Committee on Air Pollution. *Guide to the Appraisal and Control of Air Pollution*. American Public Health Association, 2a. ed. New York, 1969.
2. *Contaminación de la Atmósfera*. Quinto Informe del Comité de Expertos en Sancamiento del Medio. Serie de Informes Técnicos Núm. 157. Ginebra. O.M.S., 1958.
3. Barker, K.; Cambi, F.: *Contaminación de la Atmósfera*. Serie de Monografías de la O.M.S. Núm. 46. Ginebra, 1962.
4. *Contaminación del Aire en el Medio Urbano*. Informe de un Comité de Expertos de la O.M.S. Serie de Informes Técnicos Núm. 410. O.M.S. Ginebra, 1969.
5. Vinierra, G.: *La ingeniería química y la polución atmosférica*. Boletín de la Dirección de Higiene Industrial de la S.S.A., 1966.
6. Vinierra, G.: *La contaminación atmosférica*. Sal. Púb. Méx. 8: 601, 1966.
7. *Niveles admisibles de exposición profesional a las sustancias tóxicas transmitidas por el aire*. Sexto Informe del Comité Mixto OIT-OMS de Higiene del Trabajo. Serie de Informes Técnicos Núm. 415. Ginebra. O.M.S., 1969.
8. Lawther, P. J.: *Epidemiología de la contaminación atmosférica*. Informe de un simposio. Cuadernos de Salud Pública Núm. 15. Ginebra. O.M.S., 1963.
9. *Report of the International Joint Commission, United States and Canada on the Pollution of the Atmosphere in the Detroit River Area*. International Joint Comm. United States and Canada, 1960.
10. Greenburg, L. y Jacobs, M. B.: *Report of an air pollution Incident in New York City, November 1953*. Publ. Health Reports, 77: 7, 1962.
11. Ciocco, A. y Thompson, D. J.: *A folort of an air pollution. Incident in New York City, November 1953*. Publ. Health. 51: 155, 1961.
12. Ipsen, J. e Ingenito, E. F.: *Episodic morbidity and mortality in relation to air pollution*. Arch. Environ. Health. 18: 458, 1969.
13. Mork, T.: *A comparative study of respiratory disease in England, Wales and Norway*. Acta Méd. Scand. 172, Suppl. 384, 1962.
14. Ferris, B. G., Jr. y Anderson, D. O.: *Epidemiological studies related to air pollution: Comparison of Berlin, New Hampshire, and Chilliwack, British Columbia*. Proc. Roy Soc. Med. 57: 979, 1964.
15. Douglas, J. W. B. y Waller, R. E.: *Air pollution and respiratory infection in children*. Brit. J. Prevent. and Soc. Med. 20: 1, 1966.
16. Irnell, L. y Kiviloog, J.: *Bronchial Asthma and chronic bronchitis in a Swedish urban and rural population*. Scand. J. of Resp. Dis. Supl. No. 66, 1968.
17. Goodman, N.; Lane, R. E. y Rampling, S. B.: *Chronic bronchitis and introductory examination of existing data*. Brit. Med. J. 2: 237, 1953.
18. Holland, W. W.: *Respiratory disease in England and the United States*.

- Studies of comparative prevalence.* Arch. Environ. Health, 10: 338, 1965.
19. Holland, W. W.: *Early environmental factors in chronic respiratory disease.* 11th. Aspen Conference on Research in Emphysema, 1968.
  20. Holland, W. W. y Elliot, A.: *Cigarette smoking, respiratory symptoms, and antismoking propaganda: An experiment.* Lancet. 1: 41, 1968.
  21. Toyama, T.: *Air pollution and its health effects in Japan.* Arch. Environ. Health. 8: 153, 1964.
  22. Shoettlin, C. E.: *The health effect of air pollution on elderly males.* Am. Rev. Resp. Dis. 86: 878, 1962.
  23. Lawther, P. J.: *Climate, air pollution and chronic bronchitis.* Symposium on Weather and Disease. Proc. Roy Soc. Med. 51: 262, 1958.
  24. Fletcher, C. M.: *A five-year prospective field study of chronic bronchitis.* 11th Aspen Conference on Research in Emphysema, 1968.
  25. Viniestra, G.: *La contaminación atmosférica en la ciudad de México.* Boletín de la Dirección de Higiene Industrial de la S.S.A., 1964.
  26. Viniestra, G.: *La contaminación atmosférica de la ciudad de México.* Primer Congreso Mundial Contra la Contaminación del Aire. Buenos Aires, 1965.
  27. Viniestra, G. y Bravo, H.: *Informe preliminar acerca de la contaminación atmosférica en la ciudad de México.* Boletín de la Dirección de Higiene Industrial de la S.S.A., 1960.
  28. Alvarado, C. L. y Viniestra, O. G.: *Consideraciones generales sobre contaminación atmosférica.* II Semana Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, 1957.
  29. Gutiérrez, B. X. y Escobar, M. R.: *Efectos de la fracción orgánica de los poluyentes atmosféricos sólidos en la ciudad de México.* Segundo Congreso Mexicano de Salud Pública. México, 1963.
  30. Cicero, R.: *La contaminación aérea y la bronquitis crónica.* 1er. Symposium Internacional sobre Control de la Contaminación del Aire. México, 1966.
  31. Dirección de Higiene Industrial. *Medición de la contaminación atmosférica.* Sal. Públ. Méx. 11: 669, 1969.
  32. Márquez Mayaudón, E.: *Estado actual de la contaminación del aire en la ciudad de México.* Sal. Públ. Méx. 11: 99, 1969.
  33. Speizer, E. F.: *On epidemiological appraisal of the effects of ambient air on health: particulates and oxides of sulfur.* J. Air Poll. Cont. Ass. 19: 9, 1969.
  34. *Chronic cor pulmonale.* Serie de Reportes Técnicos Núm. 213. Ginebra. O.M.S., 1961.

## V

ALTERACIONES DE LAS VIAS RESPIRATORIAS SUPERIORES  
DEBIDAS A CONTAMINACION ATMOSFERICAJORGE CORVERA<sup>1,2</sup> y AMADO GONZÁLEZ-MENDOZA<sup>2</sup>

LOS CONTAMINANTES atmosféricos en solución, gases y vapores, penetran con el aire inspirado hasta los alvéolos pulmonares en donde participan de los

fenómenos de difusión de los gases normales de respiración, por lo que su posible efecto nocivo se lleva a cabo en todo el árbol respiratorio.

Las partículas, por el contrario, son detenidas a diversos niveles por la cortina de moco que cubre al epitelio ci-

<sup>1</sup> Académico numerario.

<sup>2</sup> Hospital General, Centro Médico Nacional, Instituto Mexicano del Seguro Social.

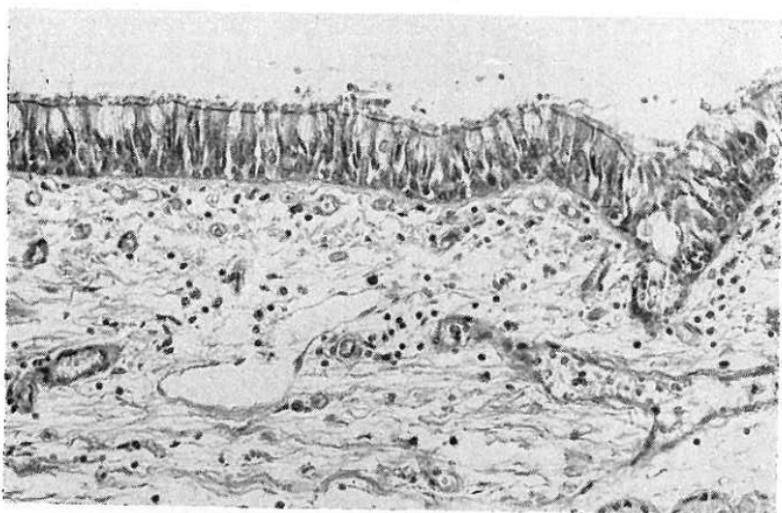


FIG. 1. Mucosa nasal normal. Se observa el epitelio (columnar pseudoestratificado-ciliado) e intercaladas entre las células epiteliales, células caliciformes productoras de moco. En el corion se observan muy escasas células mononucleares de tipo inflamatorio y vasos capilares de aspecto normal. El tejido conjuntivo no muestra alteraciones.

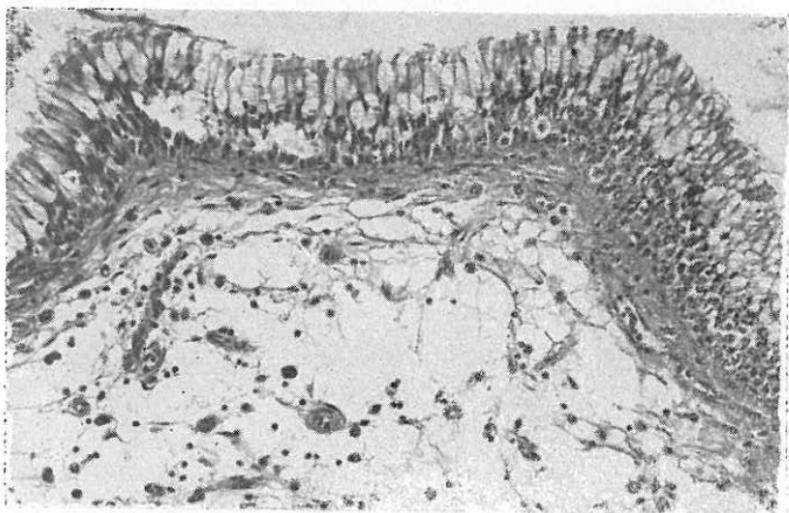


FIG. 2. Mucosa nasal irritada. Se observa en relación a la FIG. 1 engrosamiento del epitelio con proliferación de células caliciformes. En el corion hay edema muy importante que disocia las fibras conjuntivas y hay discreta infiltración de elementos inflamatorios de tipo linfocitario.

liar respiratorio. Normalmente, todas las partículas mayores de 6 micras de diámetro son retenidas en las fosas nasales; 50% de la de 2 micras y 20% de las menores de 1 micra.

El resto de las partículas de polvo son depositadas en los bronquios primarios y secundarios.

La cortina de moco que cubre el epitelio respiratorio nasal es movida por la corriente ciliar hacia la rinofaringe, hasta donde comienza el epitelio escamoso; en ese punto los movimientos

de deglución lo transportan por el esófago al estómago. El moco bronquial es movilizado por la acción ciliar, la peristalsis bronquial y el reflejo tusígeno hacia la tráquea y la laringe, y a través de ella a la rinofaringe de donde pasa al estómago.

Este mecanismo hace que la distribución de los polvos tenga una concentración peculiar. Hay gran cantidad de partículas en los cornetes nasales que disminuyen hacia la rinofaringe. En el árbol traqueobronquial la cantidad de



FIG. 3. Mucosa nasal con inflamación crónica. El epitelio muestra estratificación y pérdida de su arquitectura columnar. En la mucosa se observa hiperplasia de glándulas seromucosas, dilatación y proliferación de capilares, fibrosis incipiente y densos acúmulos linfo-plasmocitarios que llegan a formar folículos linfoides.

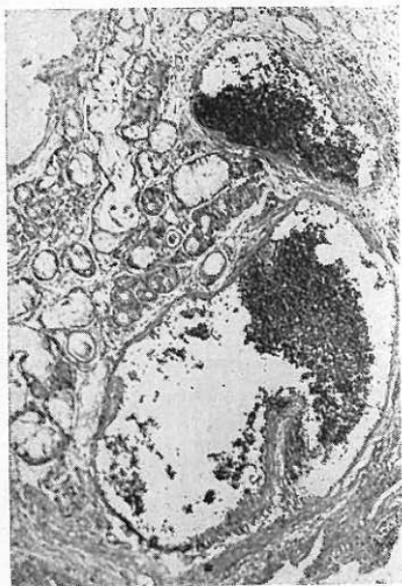


FIG. 4. Mucosa nasal con inflamación crónica. En relación con la figura 3, obsérvese más claramente la dilatación y congestión vascular con la proliferación de glándulas submucosas.

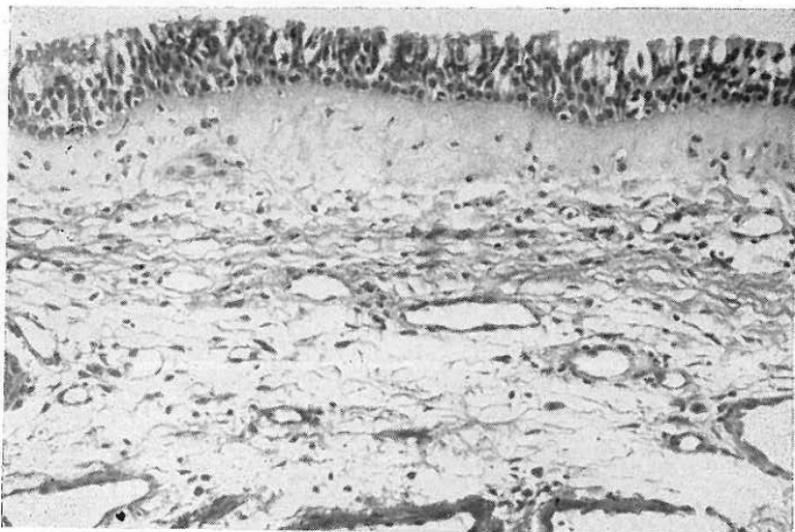


Fig. 5. Mucosa nasal con cambios cicatriciales consecutivos a inflamación crónica. Hay pérdida de la arquitectura normal del epitelio, engrosamiento acentuado con fibrosis de la lámina propia y dilatación de las capilares de la submucosa.

partículas aumenta en dirección cefálica llegando a su máximo en la tráquea superior y en la laringe.

El daño que pueda ocasionar un contaminante atmosférico constituido por partículas en suspensión, debe localizarse de preferencia en los tres sitios en que su concentración es mayor: fosas nasales, rinofaringe y laringe.

En estos sitios, como en cualquier otro, hay tres principales mecanismos que pueden resultar responsables eventuales de una enfermedad, y son la acción tóxica directa, el trauma crónico que favorece las infecciones crónicas o de repetición y el efecto oncogénico.

La acción tóxica directa de gases o polvos ocasiona necrosis de las células ciliadas superficiales, exfoliación de ellas y necrosis de las estructuras submuco-

sas. Esto se estudió desde la primera Guerra Mundial, en relación con los gases bélicos. En el periodo de recuperación, las células ciliadas destruidas tienden a reemplazarse sólo parcialmente, y el resto queda sustituido por epitelio pavimentoso poliestratificado debajo del cual se organiza tejido fibroso.

Ante la presencia continuada de irritantes de acción menos violenta, la mucosa respiratoria reacciona con edema, hipersecreción seromucosa e infiltración inflamatoria de la mucosa y las estructuras submucosas. Estos cambios hacen que la mucosa, en condiciones de defensa disminuidas, sufra fácilmente infecciones virales o bacterianas. Las infecciones tienden a exagerar los cambios inflamatorios iniciales, y pueden

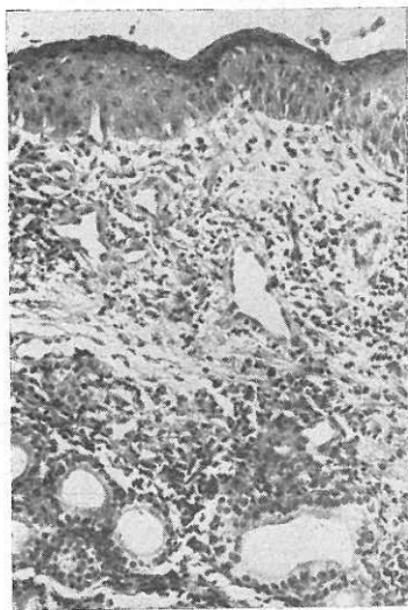


FIG. 6. Mucosa nasal con cambios reaccionales consecutivos a inflamación crónica. El epitelio presenta metaplasia escamosa, en la submucosa hay dilatación de la luz glandular, fibrosis e inflamación crónica periglandular.

ocasionar por sí mismas necrosis superficiales.

Al repararse estos daños, aparece tejido fibroso profundo que produce retracción de las estructuras nasales y la superficie se cubre de epitelio cuboide transicional o en casos extremos, epitelio escamoso poliestratificado que sustituye parcialmente al epitelio ciliar respiratorio.

Inicialmente hay aumento de las glándulas seromucosas, pero, al destruirse el epitelio ciliar desaparecen las células caliciformes, que son las principales productoras de moco. Las glándulas

submucosas multicelulares también pueden disminuir en cantidad al progresar la fibrosis profunda.

Eventualmente, la retracción de los cornetes hace que la penetración de polvos al interior de las fosas nasales sea más fácil (Figs. 1 a 7) y, por lo tanto, se exagera el daño que éstos producen.

La mucosa nasal desprovista de cilios no puede movilizar con la misma eficiencia la cortina de moco nasal, lo que hace que el moco se estacione sobre los cornetes; y que, al evaporar su agua, aumente de densidad hasta llegar a formar costras que faciliten la proliferación bacteriana bajo de ellas, iniciando de nuevo un círculo vicioso de infección-atrofia-mayor infección-mayor atrofia. El arrastre de material mucopurulento por orofaringe produce inflamación, que al organizarse en infiltración linfoide causa el cuadro de faringitis granulosa.

Estos cambios, que constituyen el cuadro de rinitis crónica con atrofia nasal, ocurren no sólo ante la exposición de polvos con acción específica tóxica o alérgica, sino también por la presencia de polvos inertes que actúan irritando por su mera presencia mecánica.

Los síntomas inmediatos que ocurren ante la presencia de gases o polvos en el ambiente se manifiestan en los ojos, la nariz y rinofaringe y el árbol traqueobronquial. Aparece ardor, lagrimeo y enrojecimiento conjuntival; hay obstrucción nasal y rinorrea mucosa; existe además, ardor faríngeo. Estas molestias son bien identificadas por el público; no así las que a largo plazo produce la rinitis crónica con atrofia nasal.

La hipersecreción de moco, así como el aumento de su densidad hace que su paso por la rinofaringe, en lugar de pasar inadvertido, se haga conciente, ocasionando lo que se denomina goteo postnasal.

El moco que se produce en la porción anterior de las fosas nasales se seca, formando costras adherentes que producen molestia por su presencia y que al desprenderse pueden facilitar sangrado nasal.

La inflamación de la faringe produce ardor de garganta que habitualmente se exacerba al deglutir y que es más notable al iniciarse y al terminarse el día.

La disminución de la eficiencia de los mecanismos de defensa de la mucosa respiratoria ante la infección hace

que el sujeto con atrofia nasal fácilmente sea contagiado de las numerosas cepas virales que producen cuadros gripales, que la recuperación sea más lenta y que las probabilidades de que en él se desarrollen complicaciones sinusales y oícticas sean mayores.

En forma excesivamente esquemática podemos decir que el sujeto que respira atmósfera contaminada con polvos y gases puede sufrir rinitis crónica, atrofia nasal e inflamación nasofaríngea que ocasiona costras nasales, descarga de moco retronasal y dolor de garganta.

Quede claro que la contaminación atmosférica no es la única causa de la rinitis crónica. Al igual que en la bronquitis crónica y el enfisema pulmonar, los cambios histológicos pueden ser favorecidos por la edad; y es bien sabido

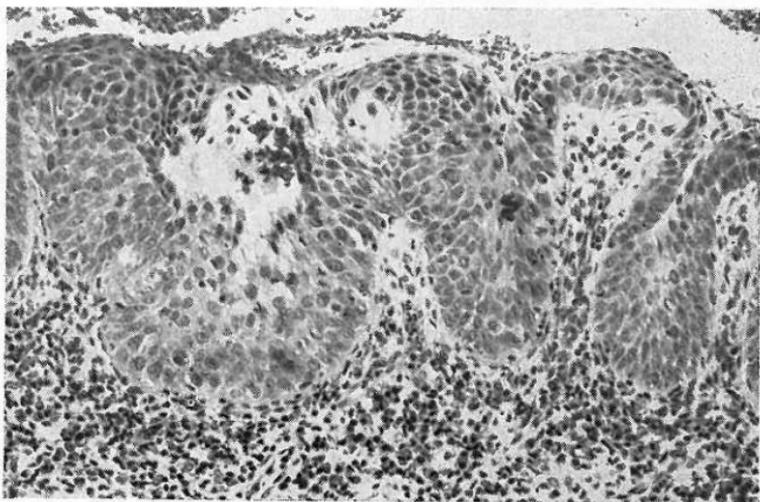


FIG. 7. Mucosa nasal con cambios reaccionales consecutivos a inflamación crónica. En relación con la figura anterior, obsérvense en el epitelio, además de la metaplasia, la presencia de células atípicas (mitosis, hiperchromatismo nuclear) en los estratos inferiores, sugestivos de cambios pre-malignos.

que la mucosa nasal de los viejos tiende a la fibrosis y a la metaplasia epidermoide.

Otros irritantes ambientales, como el humo de tabaco y otras infecciones pueden acentuar los cambios. Por último y en grado aún más avanzado, diversas infecciones específicas, entre las que destaca el escleroma respiratorio, pueden producir atrofia nasal.

No sabemos actualmente cuantas personas sufren de rinitis crónica debido a la contaminación atmosférica. La impresión clínica es que es muy común. Todos los médicos que practican la

Otorrinolaringología se dan cuenta del enorme número de pacientes con la sinomatología nasal que hemos señalado y en quienes no se puede demostrar causa específica alguna. A menudo, estos pacientes son sometidos a tratamientos empíricos como antibioterapia y lavados nasales y aun a procedimientos quirúrgicos a resultas de los cuales sus síntomas empeoran.

La contestación a esta importante pregunta podría lograrse de un estudio epidemiológico apropiado, comparando la incidencia de síntomas y de cambios patológicos en poblaciones donde no prevalezcan otras causas de rinitis.

## VI

### ALTERACIONES BRONCOPULMONARES CAUSADAS POR CONTAMINACION AEREA

RAÚL CICERO<sup>1, 2</sup> y PATRICIA ALONSO<sup>2</sup>

EN EL SIMPOSIO que sobre contaminación del aire fue presentado durante el XI Congreso Nacional de Neumología de Tórax de 1968, se concluyó que de seguir aumentando el índice de contaminación atmosférica al ritmo actual, para el año 2000 la vida humana sería prácticamente imposible en nuestro planeta. En esa ocasión se señaló que actualmente en cualquier gran ciudad, y México no es la excep-

ción, los contaminantes provocan una irritación del epitelio bronquial que facilita las infecciones. Existe gran variabilidad de la respuesta entre los diversos individuos y aun en el mismo sujeto, según sea el tipo de substancia agresora y la eventual patología previa, cuando ésta existe. Siendo así, la bibliografía nacional, aunque pobre en datos, coincide en que los procesos de tipo alérgico, las traqueítis, bronquitis y bronquiolititis, el enfisema hipertrófico o atrófico, las bronquiolectasias y

<sup>1</sup> Académico numerario.

<sup>2</sup> Hospital General de México.

granulomatosis de los tabiques alveolares son mucho más frecuentes en los habitantes de la ciudad de México que entre los del medio rural.

La relación de neoplasias de tipo pulmonar con los diversos contaminantes es discutible, aunque en casos especiales puede plantearse una relación de causa o efecto. Al menos la patología broncopulmonar ya existente se agrava, y por tal motivo se observa que la contaminación afecta con mayor frecuencia al fumador y a las personas de edad avanzada.

Se ha mencionado que en Torreón, al igual que en Monterrey, Guadalajara, Tampico, Cuernavaca, Ciudad Madero y Minatitlán, la alta contaminación con bióxido de azufre da lugar a rinitis, conjuntivitis y cuadros agudos crónicos de broncoespasmo.

Las manifestaciones específicas por cobalto, vanadio, berilio, platino y plásticos, como ejemplo de manifestaciones nocivas de tipo ocupacional, suelen afectar a los habitantes de las zonas vecinas a fábricas donde se manejan estas substancias y en este caso el problema no es profesional.

Se están descubriendo quizá con mayor frecuencia en determinados medios, nuevas entidades patológicas pulmonares, tales como la bronquiolectasia difusa, el granuloma eosinófilo, o las fibrosis intersticiales del tipo de Hamman y Rish, cuya etiología, si bien no está aún determinada, puede tener relación con contaminantes en el aire ambiente. La variedad de cambios pulmonares es impresionante. Se puede encontrar hiperemia después de la exposición a gases irritantes; el pulmón toma un

color rojo brillante y posteriormente achocolatado; los pequeños vasos sanguíneos se encuentran muy dilatados y los capilares congestionados. Puede haber extravasación de eritrocitos en los espacios alveolares, o hiperemia sin que lo anterior ocurra. La pleura generalmente muestra poca respuesta aun cuando la reacción del tejido pulmonar sea intensa. Debe distinguirse entre la hiperemia como expresión de irritación pulmonar y la congestión pasiva pulmonar. Esta última, puede presentarse como secuela a una exposición aguda; sin embargo, ésta refleja la acción que las substancias tóxicas inhaladas han tenido sobre el corazón.

Otro tipo de respuesta es el edema pulmonar. Los líquidos pueden vaciarse en tal profusión a través de la membrana alveolar y a través de los capilares, que este proceso parecería ser directamente provocado, más que ser una expresión de un cambio en la permeabilidad capilar. Tal edema puede representar el intento del pulmón para liberarse de un irritante; desde este punto de vista, la analogía con el proceso de lacrimación es obvia. En otras ocasiones esta respuesta es profusa, prolongada y sobrepasa las defensas pulmonares. Esta es una forma característica de la muerte después de la exposición a ciertos insecticidas anticolinérgicos o bien, una secuela tardía a la exposición del bióxido de nitrógeno.

El líquido de edema puede ser absorbido o adquirir un compuesto proteico. En algunas ocasiones la extravasación del material proteínico hacia los sacos alveolares, se presenta como una

manifestación primitiva de la reacción pulmonar a un irritante. Se encuentra entonces una patología pulmonar muy similar a la proteinosis alveolar. Este síndrome ha sido encontrado después de la exposición a algunas sales metálicas como el cobalto.

La carga de la respuesta aguda puede recaer sobre el sistema bronquiolar, afectando una parte o su totalidad. La variabilidad de respuestas incluye lesión epitelial con descamación, edema de la mucosa, hiperemia e inflamación. En algunas ocasiones se forman excreciones con polvos en la mucosa; como resultado de esto puede haber taponamiento de la luz bronquiolar. La capa muscular puede presentar espasmo, y por lo tanto, disminuir el calibre bronquiolar. Esto excluiría el acceso de aire a los espacios alveolares originando atelectasias; eventualmente, el atrapamiento del aire y la distensión de los alvéolos pueden dar como resultado enfisema agudo. Esta variedad de reacción ha sido observada después de la inhalación de irritantes muy agresivos; algunos de los gases utilizados durante la I Guerra Mundial producían esta lesión característica. Los productos de la combustión de algunos materiales sintéticos, parecen ser capaces de provocar esta respuesta.

La patogenia y anatomía patológica

de los contaminantes aéreos una vez inhalados, está representada por hiperemia pulmonar, edema pulmonar, proteinosis alveolar, procesos de alveolitis, bronquitis y traqueítis, como respuestas a exposiciones únicas pero graves; con la posterior formación de enfisema, epitelialización alveolar, hipertensión pulmonar y bronquiectasis, así como sensibilización del tejido pulmonar a futuras agresiones del contaminante.

Las respuestas a la acción de la inhalación de un grado menor de contaminantes aéreos, están representados por fenómenos de alergia pulmonar, traqueítis, bronquitis y bronquiolitis.

La variedad de enfisema pulmonar más íntimamente relacionado con la contaminación aérea es la focal. La confirmación de lesiones alveolares murales y la demostración de trazas residuales de ciertos contaminantes en estos casos, confirma la etiopatogenia de estas lesiones.

Algunos contaminantes aéreos, una vez inhalados, penetran a través del aparato respiratorio y son capaces de ejercer su acción nociva en otros órganos de la economía.

Así pues, la patología broncopulmonar que puede ser agravada o aun atribuida a la contaminación del aire, es rica y variada.