

Revisión bibliográfica

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología

La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud

Dr. Manuel Romero Placeres,¹ Lic. Francisca Diego Olite² y Dra. Mireya Álvarez Toste³

RESUMEN

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre. El presente artículo de revisión define esta contaminación, sus principales fuentes, los agentes contaminantes y la importancia de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Enfatiza en la contaminación de ambientes exteriores y expone una síntesis de la manifestación histórica de este problema, que incluye la referencia de convenciones y eventos internacionales. También aborda su repercusión como problema de salud, a través de ejemplos en distintos países de América.

Palabras clave: Contaminación del aire, infección respiratoria aguda, asma bronquial, problemas ambientales, desarrollo social.

Cada año, cientos de millones de personas sufren de enfermedades respiratorias y otras asociadas con la contaminación del aire, tanto en ambientes interiores como exteriores. Existen grupos poblacionales expuestos a fuentes fijas de contaminantes atmosféricos que carecen de zonas de protección sanitaria; industrias que cuentan con chimeneas de baja altura, lo que aumenta la acción contaminante de sus emanaciones, y en muchas ocasiones no disponen de medidas de control para la disminución de la contaminación a la atmósfera.¹

El crecimiento económico y la urbanización, asociados al desarrollo de diversas actividades como la industria petrolera, los servicios, la agroindustria y el incremento de las unidades automotoras, traen como resultado un consumo intenso de combustibles fósiles; al mismo tiempo, la práctica de actividades agropecuarias no apropiadas inciden en la generación de elevados volúmenes de contaminantes, que al relacionarse con las condiciones ambientales pueden dañar la salud humana, los ecosistemas y los recursos materiales.

La contaminación puede definirse como cualquier modificación indeseable del ambiente, causada por la introducción a este de agentes físicos, químicos o biológicos (contaminantes) en cantidades superiores a las naturales, que resulta nociva para la salud humana, daña los recursos naturales o altera el equilibrio ecológico.²

La salud, definida en la Constitución Mundial de la Salud^{2,3} como “un estado de completo bienestar físico, mental y social y no meramente la ausencia de enfermedad o incapacidad”, tiene una relación adversa con la contaminación.⁴

Los objetivos fundamentales de este artículo son referir la contaminación del aire como problema de salud asociado al desarrollo histórico social y, en particular, al desarrollo de la producción industrial, y exponer algunos de los efectos en la salud que se hacen más agudos por diversos factores sociales.

Contaminación del aire. Consideraciones generales

El ambiente es definido, según la Ley No. 81 del Medio Ambiente de Cuba (República de Cuba, Gaceta Oficial 1997), como: “el sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades”.³⁻⁶

La contaminación atmosférica o contaminación del aire es, por consiguiente, una de las formas principales en que puede ser degradado o afectado parte del ambiente. *Yassi A* la describe como “la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire”.²

Según su origen, puede ser clasificada por causas naturales o antropogénicas. Las naturales siempre han existido, mientras que las antropogénicas, como su nombre lo indica, son causadas por las actividades humanas.^{2,6}

Entre las principales fuentes de contaminación atmosférica están:

1. *Fuentes naturales*: Polvo que contiene materias biológicas, esporas, polen y bacterias.
2. *Fuentes agrícolas*: Insecticidas y herbicidas empleados en la agricultura.
3. *Fuentes tecnológicas*:
 - *Procesos industriales de todo tipo.*
 - *Consumo industrial y doméstico de combustibles fósiles.*
 - *Vehículos de motor.*

Existen factores topográficos y meteorológicos que influyen en la contaminación atmosférica, entre los que se pueden citar:

- Topografía del terreno.
- Edificaciones existentes.
- Vientos: dirección y velocidad.
- Lluvia.
- Presión barométrica.
- Espacio de difusión (área sobre la que se mueven los contaminantes y altura máxima a que pueden llegar las corrientes de aire).

Clasificación de los contaminantes de la atmósfera

Por su forma física:

- Gases.
- Aerosoles (líquidos y sólidos).

Por su origen:

- *Primarios*: partículas sólidas y líquidas en suspensión, gases y vapores.
- *Secundarios*: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono, otros contaminantes fotoquímicos.

Las partículas y gases descargados a la atmósfera pueden tener diferente comportamiento:

- Desplazamiento en el sentido de la dirección del viento con difusión progresiva lateral y vertical.
- Transformación física y química de los contaminantes primarios dando origen a otros más tóxicos (contaminantes secundarios) por la acción fotoquímica de la fracción ultravioleta de la luz.
- Eliminación de la atmósfera por diversos procesos naturales.

La contaminación del aire. Apuntes históricos

Algunos autores consideran que con el dominio del fuego por el hombre se inició la contaminación del aire, pero es con el proceso de industrialización que este fenómeno alcanzó una nueva dimensión. Desde el siglo XVI, en Inglaterra se presentó una aguda crisis maderera que dio lugar a la utilización de la hulla como combustible, a pesar de las restricciones que existían para su empleo.¹ Con anterioridad a la revolución industrial, la liberación de sustancias químicas al ambiente ocurría en muy pocos lugares y estas se concentraban en las inmediaciones de las fuentes emisoras.

La revolución industrial marcó un dramático y decisivo punto de cambio entre la actividad económica y el ambiente. Los requerimientos de energía de una tecnología basada en el hierro y el acero, condujeron a la contaminación del aire más generalizada, así como a concentraciones locales de contaminantes cerca del sitio de las fábricas.

Inglaterra, avanzada del cambio, fue el primer país en sufrir la contaminación industrial. En los años del reinado de la Reina Victoria (era victoriana 1837 - 1901) la fabricación en serie necesitaba del reclutamiento de grandes conglomerados de nuevos trabajadores como obreros jornaleros, la urbanización se imponía para garantizar una fuerza laboral estable y no era una prioridad relacionar la calidad del aire con el desarrollo social.

Los principales problemas de salud eran atribuibles a las enfermedades transmisibles. No existía ciencia de la salud pública que abordara los efectos de la contaminación química, aunque se describía el conocimiento que existía acerca de los efectos para la salud que producía la exposición a sustancias químicas, y que eran ocasionados con mucha frecuencia por envenenamientos intencionales.²

Las nuevas ciudades industriales llegaron a ser infames, como refería el poeta *John Donne*: “molinos satánicos oscuros, lúgubres y sucios con el hollín”.¹ La exportación de

nuevas tecnologías multiplicó esta realidad en las Islas Británicas, Europa y muchos de los países que se encontraban bajo el colonialismo y, por lo tanto, comenzaron a experimentar este tipo de problema después de transcurridos muchos años.

A finales del siglo XVIII comenzaron a extenderse las áreas urbanas, y aumentó la dependencia del campo para la obtención de los alimentos. Resultaban necesarios una capacidad de producción mayor y el almacenamiento de los alimentos, de ahí que la agricultura adquiriese un carácter más industrial.²

El desarrollo industrial aceleró la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de sustancias gaseosas y particuladas procedentes de la producción y del uso de combustibles para obtener energía y la transportación; fue así que en los primeros años del siglo XIX la contaminación atmosférica causada por la industria se identificara como un problema, ocasionado fundamentalmente por los requerimientos de energía.²

En diciembre de 1952, Londres fue invadida por una niebla asociada a un régimen anticiclónico y a una inversión* térmica. Como resultado de las bajas temperaturas los calefactores estuvieron funcionando y las condiciones meteorológicas hicieron que la nube de humo persistiera sobre la ciudad durante varios días. Se produjeron 2 851 muertes más de las previstas en solo 9 días y se reportaron 1 225 fallecimientos a la semana siguiente. En 1956 la niebla que envolvió a la ciudad durante 18 h causó 1 000 muertes más de las previstas.²

Además de este ejemplo, donde se conjugaron factores naturales y desarrollo social, se registraron disímiles sucesos de contaminación originada por accidentes industriales; entre ellos se destaca el ocurrido en Bhopal, India, en 1984.²

El deterioro continuo de la calidad del aire condujo a la celebración de diferentes convenciones internacionales. Desde fecha temprana como 1889, se convocó la Convención Internacional para la Prohibición de las Armas Químicas; no obstante, durante la Guerra Mundial, en abril de 1915, el mando alemán utilizó por primera vez en la historia un gas de combate: el cloro elemental, del cual sus propias tropas también fueron víctimas. Ese episodio desencadenó una intensa guerra química en el mundo.

De forma general, en sus inicios la respuesta de los gobiernos, la industria, los investigadores y los organismos internacionales fue lenta y pesimista respecto a la posibilidad de dar solución a los inconvenientes, lo que propició que estos se agravaran. La conciencia creciente de la comunidad acerca de los problemas de la contaminación propició un cambio en los gobiernos, que movilizó también a organismos internacionales.

En 1972 se celebró la Primera Conferencia sobre el Ambiente Humano de la Organización de Naciones Unidas, en Estocolmo, donde –en conjunto con los movimientos públicos– se persuadió a muchos gobiernos a desarrollar la legislación necesaria para limitar las emisiones de contaminantes químicos tóxicos al ambiente, así como la introducción de nuevas tecnologías y políticas con este fin. Como resultado de dichas acciones, en algunos países desarrollados se redujeron los problemas de la contaminación industrial.

En 1982 se creó la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo, y en 1983, bajo la presidencia en esta comisión de la Dra. Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega y antes Ministra de Medio Ambiente, se intensificó el trabajo relacionado con temas del ambiente y la salud. Así el informe “Nuestro futuro común”, en 1987, estableció pautas fundamentales en los problemas ambientales e hizo un llamado al “desarrollo sostenible”, para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.²

El creciente desarrollo económico y tecnológico comenzó a borrar la línea divisoria entre los problemas ambientales locales y los globales, entre los que se destacan la acidificación del ambiente, la destrucción de la capa de ozono y el incremento del calentamiento global de la tierra.²

La Conferencia Multilateral sobre la Acidificación** del Ambiente fue celebrada en 1982. Las precipitaciones ácidas tienen un pH inferior a 5,0 y sus precursores son el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno procedentes fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles. Estos gases son oxidados en la atmósfera, reaccionan con el agua de lluvia y forman ácidos sulfúrico y nítrico. Este fenómeno ha implicado daños considerables en la flora y la fauna en muchos países, así como la pérdida del patrimonio cultural, por la destrucción de monumentos históricos y zonas arqueológicas.²

Las investigaciones científicas han demostrado que los compuestos químicos denominados clorofluorocarbonos (CFC),⁷ utilizados fundamentalmente como gases refrigerantes, y los halones, utilizados en la extinción de incendios, liberan cloro al interactuar con la radiación ultravioleta, el cual reacciona con el ozono y lo transforma en oxígeno.

En marzo de 1985 se aprobó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, auspiciado por las Naciones Unidas, que adoptó medidas para proteger la salud y el ambiente de los efectos que provoca el agotamiento del ozono estratosférico, donde 49 países acordaron proteger la capa de ozono. En Cuba, se creó la Oficina Nacional encargada de controlar el uso de los CFC en empresas y organismos.

En 1987 se firmó el Protocolo de Montreal para fijar límites a la producción de CFC y halones, el cual entró en vigor en 1989 y ha sufrido sucesivas enmiendas. Se estima que los países subdesarrollados utilizan solo el 16 % del consumo mundial y resulta necesaria la transferencia de tecnologías para dejar de utilizar dichos gases.²

El desarrollo de las cumbres mundiales sobre medio ambiente y desarrollo, de Río de Janeiro (1992), y la de Johannesburgo (2002) han evidenciado la necesidad de mejorar la calidad del aire y alcanzar un desarrollo social donde prevalezca la equidad.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) invitaron en 1985 a científicos de 29 países a Austria para analizar el calentamiento de la atmósfera*** y se creó un comité técnico para estudiar este fenómeno. En 1990, la Asamblea General de las Naciones Unidas creó el Comité Intergubernamental de Negociación para la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CIN/CMCC). El CIN, con representantes de más de 150 países, celebró

cinco períodos de sesiones entre 1990 y 1992, y el 9 de mayo de 1992 se adoptó un texto de la Convención.²

Situación de algunos países de América

Para graficar el problema de la contaminación del aire se hará referencia a 3 países del continente: México, Cuba y Estados Unidos.

A pesar de que la contaminación atmosférica constituye un hecho cotidiano en la zona metropolitana de Ciudad de México, la circunstancia de vivir bajo un cielo turbio es un fenómeno relativamente reciente. La parte más importante en la historia del deterioro del aire en la ciudad se ubica, en los últimos 40 años, como resultado del desarrollo y agudización de múltiples desequilibrios de carácter económico, urbano, energético, social y ambiental. Entre ellos se destaca un rápido crecimiento de la población, que ha provocado una expansión urbana sin precedente.⁶

Entre las mayores capitales latinoamericanas, la zona metropolitana de Ciudad de México, única situada en el corazón del continente, a una altura de 2 240 m sobre el nivel del mar, muestra una amplia variedad de sustancias contaminantes: partículas suspendidas totales, plomo, monóxido de carbono, óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono y otros oxidantes fotoquímicos.

Los problemas de la calidad del aire han provocado la reacción de la opinión pública y fuertes demandas sociales. Responder a ellas significa enfrentarse a uno de los más grandes retos de esta urbe de dimensiones y complejidades extremas, que se ha ganado la atención mundial por sus problemas ambientales, especialmente la contaminación atmosférica.

Se han realizado investigaciones sobre los efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de los habitantes de la zona metropolitana de Ciudad de México,⁵⁻⁷ y grupos de investigación en universidades o instituciones civiles han realizado estudios de interés que representan los primeros intentos para diagnosticar específicamente los efectos en la población urbana.¹⁻¹²

La ejecución de programas locales para el monitoreo de la calidad del aire se ha impuesto entonces como una necesidad, de lo que es ejemplo en este país el portal de Tabasco, de la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente, para mantener informada a la población acerca del nivel de calidad del aire y la indicación para realizar actividades físicas en 3 ciudades que disponen de estaciones de monitoreo.¹³

De 1971 a 1980, en Cuba se produjo un proceso acelerado de desarrollo industrial y de reducción de las desigualdades entre el campo y la ciudad, lo que condujo a establecer la legislación ambiental, como parte del proceso de institucionalización con la creación de la Comisión Nacional para la Protección del Medio Ambiente y Conservación de los Recursos Naturales (COMARNA) en 1976.

Sobre la contaminación del aire, se realizó un estudio en Ciudad de La Habana para determinar los niveles de monóxido de carbono en algunas vías de tránsito, de acuerdo con sus características específicas (ancho de la vía, cerrada o semicerrada, relieve) y se

encontraron concentraciones elevadas del contaminante en todas las avenidas estudiadas, hasta de 14,6 mg/m³, cuando la norma cubana establece 5 mg/m³.¹⁴

Investigadores del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, la Unidad Nacional de Salud Ambiental, del Instituto de Meteorología y de otras instituciones de salud del país han realizado diferentes proyectos y muestran resultados de estudios locales y territoriales, en los que se argumentan los efectos de la exposición a contaminantes ambientales sobre la salud respiratoria en niños y respiratoria y cardiovascular en adultos.^{1,15}

En el INHEM funciona una de las estaciones de monitoreo de aire con registros de contaminantes. Por más de 20 años, los datos obtenidos han servido para desarrollar diversos estudios.¹⁶⁻²³ Actualmente, el proyecto de saneamiento ambiental de la Bahía de La Habana se propone entre sus tareas el montaje de unidades de diagnóstico ambiental y salud para la vigilancia de la contaminación en diferentes zonas de la ciudad, lo que consolidará la vigilancia de la calidad del aire****.

En la ciudad de Los Ángeles, Estados Unidos, en 1942, 1954 y 1955 se registraron episodios agudos de contaminación del aire que contenía ozono, óxido de nitrógeno y peroxiacetilnitrato. Este último compuesto se originó por acción de los rayos ultravioletas de la luz solar sobre los agentes químicos presentes en las emisiones de los automóviles.

Las altas chimeneas de las industrias no reducen la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura y reducen así su concentración *in situ*. Los contaminantes pueden ser transportados a gran distancia y producir sus efectos adversos en áreas muy alejadas del lugar donde tuvo lugar la emisión. El pH o acidez relativa de muchos lagos de agua dulce de la región de Norteamérica se ha alterado hasta tal punto que ha destruido poblaciones enteras de peces. Las emisiones de dióxido de azufre y la subsiguiente formación de ácido sulfúrico pueden ser también responsables del ataque sufrido por las calizas y el mármol a grandes distancias.¹⁶

Desde finales de la década de 1940, el creciente consumo de carbón y petróleo ha llevado a concentraciones cada vez mayores de dióxido de carbono. El efecto invernadero resultante, que permite la entrada de la energía solar pero reduce la reemisión de rayos infrarrojos al espacio exterior, genera una tendencia al calentamiento que afecta al clima global y podría llevar al deshielo parcial de los casquetes polares. Es concebible que un aumento de la cubierta nubosa o la absorción del dióxido de carbono por los océanos pudiera poner freno al efecto invernadero antes de que se llegara a la fase del deshielo polar. No obstante, los informes publicados en Estados Unidos en la década de 1980 indican que el efecto invernadero es un hecho y que las naciones del mundo deberían tomar medidas inmediatamente para ponerle solución.

El Plan de Gestión de la Calidad del Aire de 1967 y las enmiendas constituyen la base legal para el control de la contaminación atmosférica en este país. Ante la toma de conciencia del problema, han surgido proyectos como la *iniciativa de aire limpio en las ciudades de América Latina. Sistema de información de calidad del aire en el continente*,¹⁷ que recoge importantes experiencias y el trabajo desarrollado por CEPIS.¹⁸

Efectos sobre la salud

En las últimas décadas se reportan evidencias sobre la asociación entre los contaminantes atmosféricos y el incremento de las consultas de urgencias por enfermedades respiratorias.^{1,8,9,19,20-22}

Los estudios epidemiológicos demuestran que la exposición a diferentes contaminantes ambientales, incluso a niveles por debajo de las normas internacionales, se asocian con un incremento en la incidencia de asma, severidad en el deterioro de la función pulmonar, así como mayor gravedad en la presentación de las enfermedades respiratorias de niños y adolescentes.^{1,7,8,11,15}

La relación entre la exposición a material particulado (humo y PM₁₀) y los efectos adversos a la salud se han documentado en diferentes estudios, aunque solo algunos han investigado el impacto del humo sobre la salud de niños con crisis aguda de asma bronquial.¹

Entre los principales contaminantes con capacidad de afectar la salud de los individuos están los que provienen de emisiones primarias o transformaciones atmosféricas. Los vehículos automotores son la fuente más importante de algunos de estos contaminantes (en particular el monóxido de carbono), óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, ozono y otros oxidantes fotoquímicos, plomo y, en menor proporción, las partículas suspendidas totales de bióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles.

La creciente urbanización, el congestionamiento vehicular y los grandes costos de los medios de control han convertido en un problema crucial la contaminación del aire urbano. Los contaminantes y sus derivados pueden producir efectos adversos a la salud, e interactuar y alterar las moléculas indispensables para los procesos bioquímicos y fisiológicos del cuerpo humano.

Tres factores condicionan el riesgo de lesión tóxica por estas sustancias: sus propiedades físico-químicas, las dosis de las sustancias que entran en contacto con los tejidos críticos y la respuesta de estos a las sustancias.

En Cuba se reporta que las enfermedades respiratorias agudas constituyen el principal motivo de consultas médicas para todas las edades, con una prevalencia elevada. El asma bronquial también presenta tasas elevadas, sobre todo en la infancia y la adolescencia, con tendencias al incremento, y señala la exposición –en muchas ocasiones– a bajos índices de contaminación atmosférica y su asociación con un aumento de la morbilidad.¹ Estos resultados sirvieron de fundamento al proyecto internacional de evaluación de la prevalencia de asma y enfermedades alérgicas en la infancia (Molina E. Contaminación atmosférica en Centro Habana. Asociación con la morbilidad por asma bronquial y enfermedades respiratorias agudas. Tesis. La Habana: Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana, 1998).

*Dockery y Pope*²³ comparan estudios recientes que demuestran evidencias de aumento de la mortalidad y la morbilidad asociadas a concentración moderada de partículas suspendidas. Fluctuaciones diarias de anhídrido sulfuroso y partículas suspendidas han sido asociadas a un incremento en la morbilidad, mortalidad y reducción en la función pulmonar.

Por su parte, *Barnes*²⁴ plantea que el impacto de las concentraciones ambientales de las partículas suspendidas en niños con asma amerita una investigación, pues el tema es aún controversial.

Estos problemas de contaminación del aire tienen una gran relevancia sobre la salud pública por la demanda de servicio que generan. Se calcula que una disminución de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de humo y de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM_{10} , repercutiría en una disminución de la demanda de 3,3 % en las urgencias por asma y en 5 % en las correspondientes a IRA.¹

Las sustancias en las emisiones vehiculares pueden provocar efectos inflamatorios irritativos en el aparato respiratorio; las principales son: nitrógeno, ozono, oxidantes fotoquímicos, bióxido de azufre y las partículas.

En estudios realizados en Estados Unidos y Europa²³⁻²⁵ se demostró que la concentración media anual de las partículas totales estuvo significativamente asociada con la prevalencia de tos y bronquitis en niños escolares, y fue más fuerte en aquellos niños con diagnóstico de asma.

Otra evidencia describe que niños de 5 a 7 años de Ciudad de México con asma moderada son afectados por concentraciones de partículas suspendidas menores de 10 U y en partículas de 2,5 U en el cual se demostró una fuerte asociación entre los niveles de PM_{10} y el flujo espiratorio máximo, mientras que los síntomas respiratorios fueron asociados tanto a PM_{10} como a ozono.¹²

En estudios realizados en Chile se reporta incremento de enfermedades respiratorias agudas asociado fuertemente con los niveles de partículas en suspensión PM_{10} .²⁶

Otros efectos de la contaminación atmosférica

- Daños a la economía.
- Daños a la vegetación: alteraciones foliares, reducción del crecimiento de las plantas, destrucción de flores, etcétera.
- Alteraciones del medio ambiente: reducción de la visibilidad, efecto de invernadero, afectación de la capa de ozono, lluvia ácida, etcétera.
- Daños a los animales: muerte, fluorosis, efectos genéticos, acortamiento de la vida, entre otros.
- Efectos psicológicos sobre el hombre.
- Efectos fisiológicos sobre el hombre: agudos y crónicos.

Principales repercusiones económicas de la contaminación del aire

- Pérdidas por efectos directos o indirectos en la salud humana, en el ganado y en las plantas.
- Pérdidas por la corrosión de materiales y de sus revestimientos de protección.
- Pérdidas por gastos de mantenimiento de las edificaciones y la depreciación de objetos y mercancías expuestos.
- Gastos directos por la aplicación de medidas técnicas para suprimir o reducir el humo y las emanaciones de las fábricas.

- Pérdidas indirectas por mayores gastos de transporte en tiempo de niebla contaminada, o de electricidad por la necesidad de encender el alumbrado antes del horario establecido.
- Gastos relacionados con la organización administrativa de la lucha contra la contaminación.
- Costo de investigaciones destinadas a la lucha contra la contaminación.

Medidas para la prevención y el control de la contaminación del aire e importancia de los sistemas de vigilancia

Entre las medidas que pueden tomarse para la prevención y control pueden citarse:

- Medidas legislativas: normas de calidad del aire.
- Planificación urbana y regional.
- Reducción de la generación de contaminantes.
- Control de las fuentes de contaminación:
 - a) Control de la emisión de partículas (cámaras de sedimentación, separadores inerciales, purificación por vía húmeda, filtración y precipitación electrostática).
 - b) Control de las emisiones gaseosas (por combustión, absorción o adsorción).

Se han realizado estudios en diversas ciudades que han puesto de manifiesto elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos, tanto primarios (aquellos emitidos a la atmósfera como resultado de un proceso natural o antropogénico, como por ejemplo: dióxido de azufre, monóxido de carbono) como secundarios (se forman en la atmósfera producto de alguna reacción; por ejemplo: sulfatos y ozono) en diferentes puntos de las avenidas principales.²⁷⁻²⁸

Integración de un sistema de vigilancia de la calidad del aire

1. Red de estaciones de muestreo.
2. Laboratorios para la determinación de los contaminantes.
3. Sistema de clasificación, análisis, archivo de la información y recomendaciones.

Objetivos de la vigilancia de la calidad del aire en las zonas urbanas

- Valorar si las normas establecidas de calidad del aire (CMA) son respetadas.
- Observar las tendencias de la contaminación, comprendidas las zonas no urbanas cercanas.
- Acelerar los mecanismos de control en casos de emergencia.
- Proporcionar una estimación de la magnitud de la exposición de los grupos poblacionales.
- Disponer de elementos para:
 - a) La evaluación de los efectos.
 - b) La planificación de la utilización del espacio urbano.
 - c) La organización de campañas de lucha contra la contaminación y la evaluación de sus resultados.
 - d) El establecimiento y verificación de modelos de difusión.

Objetivos del muestreo de contaminantes de la atmósfera

- Determinar el grado de contaminación del aire ambiental y su relación con las condiciones de la exposición, los riesgos para la salud y otros efectos adversos.
- Precisar la contribución de las diversas fuentes a la contaminación de la atmósfera. Por ejemplo: efecto de las instalaciones industriales y del tránsito en el grado de contaminación del aire, así como de la contaminación atmosférica en la higiene y en la salud pública.
- Evaluar los resultados de las medidas de prevención y control y en particular la aplicación de las normas sobre calidad del aire.

Mientras en muchas ciudades de países desarrollados ha mejorado la calidad del aire con respecto a 1970, excepto para el NO², como consecuencia del incremento del tráfico de automóviles, en muchas ciudades del mundo subdesarrollado se ha producido un deterioro de esta, paralelamente al rápido desarrollo de las actividades industriales, de la circulación de vehículos de motor con deficiente estado técnico y la inexistencia o el incumplimiento de normas sanitarias adecuadas.

En Ciudad de La Habana, por ejemplo, existen grupos poblacionales expuestos a fuentes fijas de contaminantes atmosféricos que no cuentan con adecuadas zonas de protección sanitaria (son zonas establecidas alrededor de una industria, donde no deben existir asentamientos humanos), e industrias sin filtros para disminuir la contaminación. Además el transporte automotor presenta en general un insatisfactorio estado técnico; esto genera un parque vehicular que aumenta potencialmente la contaminación.^{1,12}

Se han utilizado ampliamente los estudios epidemiológicos para aclarar los efectos de los contaminantes atmosféricos de origen vehicular en la salud. Con el fin de evaluar los riesgos derivados de emisiones vehiculares a nivel de la población general, deben considerarse diversos factores: exposición, dosis, efectos biológicos, relación dosis-respuesta y proporción de la población expuesta. Las estimaciones para evaluar los efectos adversos potenciales de los contaminantes de origen vehicular pueden hacerse para O₃, partículas, CO, plomo, así como para el riesgo cancerígeno de exposición al benceno e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Se concluye que la amplitud del tema y la diversidad de investigaciones no posibilita formular conclusiones definitivas. La información científica disponible hasta el momento es insuficiente para evaluar todos los efectos de la contaminación del aire, lo cual reafirma la necesidad de promover y ampliar las investigaciones epidemiológicas.

Sobre la exposición humana a los contaminantes atmosféricos de origen vehicular puede afirmarse que numerosos estudios han demostrado que las concentraciones de algunos contaminantes dentro de los vehículos y junto a las calles son generalmente más altas que los niveles registrados simultáneamente en los monitores fijos, y que las exposiciones tienden a ser mayores dentro de los automóviles que en el transporte público (autobuses o trenes).

Dada la situación que se ha generado en la salud de los seres humanos, animales y plantas se han tomado medidas gubernamentales legales tanto nacionales como internacionales que favorecen la calidad del aire, pero aún se deben lograr acciones más decisivas.

La existencia de agencias o instituciones encargadas de la protección del medio ambiente, responsables de que se apliquen los requerimientos, normas y se establezcan estándares de calidad del aire para las sustancias peligrosas, no es garantía del cambio en la situación actual.

La polución ambiental, promovida por la industrialización acelerada, por el consumismo y la producción desenfrenada, la dilapidación de combustibles fósiles y el desarrollo de guerras devastadoras, son algunos de los factores a tomar en cuenta cuando se evalúan las perspectivas de la salud en la población urbana y rural, infantil y adulta, de países desarrollados y subdesarrollados, donde la calidad del aire resulta un elemento fundamental.

SUMMARY

Air pollution: its impact as a health problem

Air pollution is presently one of the most serious environmental problems worldwide. It is present in every society regardless of socio-economic development and constitutes a phenomenon that has a particular incidence on the human health. The present review article defined this kind of pollution, its main sources, polluting agents and the importance of surveillance systems for air quality. It also made emphasis on outdoor environmental pollution and presented summarized information on the manifestations of this problem in the course of history including international conventions and events. This article addresses the impact of pollution as a health problem through examples taken from different countries of America.

Key words: Air pollution, acute respiratory infection, bronchial asthma, environmental problems, social development.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Romero Placeres M, Más Bermejo P, Lacasaña Navarro M, Téllez Rojo Solís MM, Aguilar Valdés J, Romieu I. Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad de La Habana. *Sal Públ Mex.* 2004;46:222-3.
2. Yassi A, Kjellstrom T, de Kok T, Guidotti. *Salud Ambiental Básica* (versión al español realizada en el INHEM). México DF. PNUMA. 2002.
3. Más P. *Salud ambiental, desarrollo humano y calidad de vida*. Capítulo 20. Monografía en Internet. Instituto Nacional de Ecología de México, 2005. Disponible en URL : <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/363/cap20.html#top>
4. Ley 41 de Salud Pública (capítulo 3): Higiene y Epidemiología. Sección quinta. Control Sanitario del Ambiente. Disponible en URL: <http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-41.htm>
5. Ley 81 de Medio Ambiente (capítulo 7): Ambiente. Disponible en URL: <http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-81.htm>
6. Gutiérrez JH, Romieu I, Corey G, Fortoul T. Contaminación del aire, riesgos para la salud. México DF: UNAM/El Manual Moderno. 1997:4-5.
7. CFC [artículo de Internet]. Disponible en URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/CFC>

8. Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sienna JJ, Huerta J, White MC, Etzel RA. Effect of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996;154:300-7.
9. Téllez-Rojo MM, Romieu I, Ruiz-Velazco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de Ciudad de México. *Sal Publ Mex.* 1997;39:513-22.
10. Gold DR, Damokosh AI, Pope A, Dockery DW, McDonnell WF, Serrano P, et al. Particulate and ozone pollutant effect on respiratory function of children in Southwest Mexico City. 1999. *Epidemiology.* 1999;10(1):8-16.
11. Hernández-Cadena L, Téllez-rojo MM, Sanín-Aguirre LH, Lacasaña-Navarro M, Campos A, Romieu I. Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Sal Públ Mex.* 2000;42:288-97.
12. Romieu I, Meneses F, Sienna-Monge JJ, Huerta J, Ruiz S, White M. Etzel R, Hernández.-Ávila M. Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *Am J Epidemiol.* 1995;141:546-53.
13. SEDESPA. [Página principal en Internet]. Monitoreo de la Calidad del Aire en las ciudades de Villahermosa, Cárdenas y Comalcalco Tabasco, con respecto a las partículas menores o iguales a 10 micras (PM₁₀). Disponible en URL: <http://www.sedespa.gob.mx/monitoreo/index.htm>
14. Bonito LA. Modelos para el cálculo de monóxido de carbono en avenidas. En: *Contaminación del aire y salud. Serie Salud Ambiental, No. 2.* La Habana. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. México D.F. Ciencias Médicas. 1992:79-91.
15. Molina E, Meneses E. Evaluación epidemiológica del impacto de los contaminantes del aire. Propuesta metodológica. *Rev Cubana Hig Epidemiol.* 2003;41(2-3). Disponible en URL: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0253-175120030002&lng=es&nrm=iso
16. Brunekreef B, Dockery DW, Krzyzanowski M. Epidemiologic studies on short-term effects of low levels of major ambient air pollution components. *Environ Health Perspect.* 1995;103(Suppl) 2:3-13.
17. Cleanairnet.org [Página principal de Internet]. Iniciativa de aire limpio en las ciudades de América Latina. Sistema de información de calidad de aire en América Latina. Disponible en URL: <http://www.cleanairnet.org/lac/1471/propertyvalue-13639.html>
18. CEPIS.org [Página principal de Internet] Calidad del aire. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/index.html>
19. Ilabaca M, Olaeta I, Campos E, Villaire J, Téllez MM, Romieu I. Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illness among children in Santiago. Chile. *J Air WasteManag Assoc.* 1999;49:174-85.
20. Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties. *Epidemiology.* 1999;10(1)17-22.
21. Martínez M, Molina E, Prieto V, Pérez D. Comportamiento diario del dióxido de azufre y partículas en suspensión en Centro Habana. En: *Memorias I Congreso Internacional de Ambiente, Escuela y Salud.* La Habana. 2004 (CD ROM) (ISBN 959-7124-68-8).
22. Molina E, Meneses E. Funciones exposición-respuesta para evaluaciones de impacto de contaminantes prioritarios del aire en la salud. En: *Memorias I*

- Congreso Internacional de Ambiente, Escuela y Salud. La Habana, noviembre 2004 (CD ROM) (ISBN 959-7124-68-8).
23. Dockery DW, Pope III CA. Acute respiratory effects of particulate air pollution. Environmental Epidemiology Program. Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts. Annu Rev Public Health. 1994;15:107-32.
 24. Barnes PJ. Air pollution and asthma. Postgrad Med J. 1994;823:319-25.
 25. Peters A, Goldstein IF, Beyer U, Franke K, Heinrich J, Dockery W. Acute health effects of exposure to high levels of air pollution in Eastern Europe. Am J Epidemiol. 1996;144(6):570-81.
 26. Oyarzún Gómez M. Contaminación atmosférica y asma bronquial. Rev chil enferm respir. 2000;16(3):142-7.
 27. Meneses E, Turtós L, Molina E. Mejoras en la estimación de las externalidades de la generación eléctrica en Cuba. Revista electrónica Ecosolar. 2004 (7) Julio-Sep. ISBN 1028-6004. Disponible en URL: <http://www.cubasolar.org/biblioteca/ecosolar.htm>
 28. Oficina Nacional de Normalización. Normas de Gestión Ambiental. Calidad del Aire. Requisitos Higiénico-Sanitarios. NC 39. 1999.

Recibido: 10 de enero de 2006. Aprobado: 12 de abril de 2006.

Dr. *Manuel Romero Placeres*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta 1158 e/ Clavel y Llinás. Centro Habana, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: mromero@inhem.sld.cu

*La inversión puede ocurrir por radiación: nocturna (aire frío con un estrato superior de aire más caliente) o por calma o suspensión: por presión barométrica elevada.

****El primero en utilizar el término “lluvia ácida” fue el químico inglés Robert August Smith en 1872 al estudiar la relación entre el aumento de la acidez en las lluvias de la región de Manchester y la contaminación en esta ciudad industrial.**

*****En 1822, un matemático francés, Jean Fourier comparó por primera vez a la tierra con un invernadero, ante el hecho de que la atmósfera deja pasar los rayos solares y retarda el escape del calor producido al ser absorbida la radiación infrarroja por el bióxido de carbono, metano y óxido nitroso en la atmósfera. El aumento de la emisión de éstos compuestos y de otros contaminantes con iguales características, han producido un aumento de este “efecto invernadero” que de continuar produciría en el futuro daños ambientales considerables generados por cambios climáticos y el aumento del nivel del mar.**

******Para ampliar las búsquedas de información de estudios sobre calidad del aire se recomienda por los autores visitar el sitio de la BVS de Salud Ambiental <http://www.inhem.sld.cu/cniche/saludambiental/busbib.htm>**

¹Investigador Auxiliar. Instructor. Especialista en Higiene y Epidemiología. Máster en Salud Ambiental.

²Investigadora Agregada. Asistente. Máster en Salud Ambiental y en Educación.

³Especialista en Higiene y Epidemiología. Máster en Salud Ambiental.