

**CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

**Revisado en:  
mayo 2003**

## CONTAMINACION DEL AIRE

### A. Características de la contaminación del aire

#### 1. ¿Qué se entiende por contaminación del aire?

La contaminación atmosférica se define como la presencia en la atmósfera comunal de uno o más contaminantes o combinaciones de éstos en cantidades y duraciones tales que puedan afectar a los seres humanos, los animales, la vegetación o que interfieran irrazonablemente con el libre disfrute de la vida y la propiedad.

Es en la capa inferior de la atmósfera, la troposfera donde se transportan y diluyen los contaminantes. La capa inferior está compuesta de seis millas de espesor y comprende aproximadamente el setenta por ciento (70%) del total de la masa de aire. En la capa inferior de la atmósfera operan factores como temperatura, lluvias, topografía, vientos y radiación solar, los cuales establecen los patrones y razones de ventilación del globo terráqueo y a la vez el nivel de contaminación de la atmósfera.

Es importante señalar que con anterioridad al hombre comenzar el desarrollo industrial y agrícola existente, la atmósfera nunca estuvo absolutamente limpia. Desde antes, el aire arrastraba polvos orgánicos, materia particulada (generada por volcanes activos y por la erosión del viento), núcleos de sal del mar, metano generado por los pantanos, polen y bacterias. La presencia de estas sustancias en la atmósfera causaba cierto grado de contaminación.

Los contaminantes de aire se clasifican en primarios y secundarios dependiendo de su origen. Los contaminantes primarios son aquellos que se encuentran en la atmósfera en forma idéntica a como fueron emitidos, o sea, que no han sufrido ninguna alteración fundamental en su estructura molecular original. Estos afectan la salud de los seres humanos y son generados directamente de su origen en forma de gas, líquido o sólido.

Los contaminantes secundarios son producto de reacciones químicas ocurridas en la atmósfera entre contaminantes primarios.

Los límites de concentraciones establecidos por reglamentación se conocen como límites primarios y límites secundarios. Los límites primarios están dirigidos a proteger la salud de los seres humanos y los secundarios al libre disfrute de la vida y la propiedad.

La Junta de Calidad Ambiental en cooperación con la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha identificado seis clases de contaminantes principales que afectan sustancialmente la atmósfera y para los cuales se han establecido concentraciones máximas permisibles. Estos son: materia particulada, bióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y plomo. Más adelante se discute cada contaminante y su procedencia.

## 2. ¿Qué se entiende por calidad de aire?

La calidad del aire está íntimamente relacionada con la naturaleza de los contaminantes y los puntos específicos desde donde se emiten dichos contaminantes. La calidad del aire puede medirse por instrumentos altamente especializados o puede estimarse basándose en información que se obtiene a través de inventarios de emisiones.

La atmósfera se limpia ella misma por acción natural mediante la lluvia y el viento. Cuando este proceso natural no sea capaz de ejercer estas funciones debido a altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera se entiende que existen problemas de contaminación de aire.

El aire al que denominamos como atmósfera comunal consiste mayormente de una mezcla de los gases nitrógeno y oxígeno. Las concentraciones de estos gases en la atmósfera son de 78% nitrógeno y 21% de oxígeno. El restante 1% lo constituyen otros gases.

## 3. Importancia de una atmósfera limpia

El aire se considera el elemento más indispensable para la sobre vivencia del hombre, los animales y la vegetación. La atmósfera se puede considerar como un océano de aire. El hombre y los animales pueden

sobrevivir sin alimentos cinco semanas o más, pero sin aire éstos pueden fallecer a los cinco minutos. El ser humano respira 22,000 veces al día aproximadamente, inhalando durante ese periodo alrededor de 35 libras de aire. No obstante, el hombre en su búsqueda de una vida más cómoda y agradable ha contaminado a la atmósfera a través de sus actividades, sin tomar las medidas preventivas y de control necesarias para evitar la contaminación.

#### B. Fuentes de contaminación de aire

La demanda de nuestra sociedad por obtener una vida más placentera, de abundancia y comodidad es responsable del grado de contaminación atmosférica prevaleciente. Las demandas de empleo, mayores automóviles y carreteras, utensilios eléctricos, recreación, educación, las exigencias de actividades sociales, productos de consumo y el uso indiscriminado de nuestros recursos naturales han sido los principales causantes del desequilibrio ambiental que nos aqueja hoy día. Las fuentes de contaminación de aire pueden ser clasificadas en dos tipos a saber: fuentes naturales y fuentes artificiales.

1. Fuentes naturales – las siguientes actividades pueden considerarse fuentes naturales de contaminación ambiental.

- Fuegos forestales
- Actividad volcánica
- Polvo fugitivo levantado por el viento
- Descomposición biológica
- Salitre proveniente del agua salada o del mar
- Polen de las flores
- Radiación solar y cósmica
- Ozono producido por descargas eléctricas

2. Fuentes artificiales

Las fuentes artificiales de contaminación de aire son aquellas producidas por el hombre. Estas son consideradas más peligrosas que las naturales. Las artificiales pueden dividirse a su vez en fuentes móviles y fuentes estacionarias o fijas.

a. fuentes móviles – las fuentes móviles de contaminación de aire mayormente están relacionadas con la transportación, a saber:

- vehículos de motor
- aeroplanos
- barcos

b. fuentes estacionarias o fijas – las fuentes fijas o estacionarias provienen en su mayoría de actividades industriales o agrícolas.

Algunos ejemplos son:

- plantas de producción de energía eléctrica
- industrias en general
- calentadores, incineradores y calderas
- quema de desperdicios a campo abierto
- actividades de construcción de edificios y carreteras
- actividades agrícolas
- actividades mineras

### C. Efectos de la contaminación de aire

Los problemas de contaminación de aire se agravan si tomamos en consideración la alta densidad de Puerto Rico. Con una población de alrededor de 3.2 millones de habitantes y con una extensión territorial de sólo 3,435 millas cuadradas, la densidad poblacional de Puerto Rico es una de las más altas del globo terráqueo.

Existe una relación directa entre el nivel de degradación de la atmósfera y el deterioro de la salud pública. La contaminación de aire está íntimamente relacionada con enfermedades respiratorias, tales como bronquitis, cáncer del pulmón, efisema y otras. Además, la contaminación de aire produce efectos adversos sobre la agricultura, los ecosistemas y genera corrosión en los materiales y ocasiona daños a la propiedad privada.

Estudios rigurosos demuestran que la exposición del cuerpo humano a ciertas concentraciones de contaminantes pueden causar alteraciones fisiológicas que anteceden a enfermedades definitivas.

Ejemplos de los daños ocasionados por la exposición a altas concentraciones de contaminantes es el caso ocurrido en el poblado de Donora, Pennsylvania, en el cual murieron 20 personas y 6,000 fueron afectadas por las altas concentraciones de bióxido de azufre prevalecientes en la atmósfera.

Otro incidente de exposición a altas concentraciones de bióxido de azufre ocurrió en Londres, Inglaterra, en el año 1952, cuando se combinaron varios factores como la existencia de una densa neblina, intensa actividad industrial basada en el uso del carbón de piedra y una inversión térmica que impidió la salida de este gas a la alta atmósfera por lo cual se registraron 4,000 muertes en 5 días y hubo un aumento de 48% en ingresos de pacientes en hospitales. Los agentes contaminantes en grandes concentraciones alteran adversamente los mecanismos de defensa pulmonares, afectando el sistema de cilios del epitelio pulmonar y causando irritación, inflamación y erosión del epitelio. Los cambios inflamatorios producidos por los contaminantes causan el desarrollo de espasmos bronquiales severos con marcadas dificultades respiratorias, muertes por asfixia, edemas pulmonares, agravación de síntomas cardiacos, asma severa y otras alteraciones del sistema respiratorio.

#### Efectos crónicos de la contaminación del aire en el sistema respiratorio

Algunas alteraciones fisiológicas del sistema respiratorio, cuando aparecen temprano en la vida de los individuos, pueden ser un factor importante de riesgo en el desarrollo eventual de desórdenes respiratorios severos.

Estudios hechos en Inglaterra, Japón, Italia y Canadá han demostrado consistentemente una reducción en la función pulmonar en grupos de niños de escuela que viven en áreas densamente contaminadas, en comparación con niños que viven en áreas de baja contaminación. Estudios recientes de Carl M. Shy del Laboratorio de Estudios Humanos de la Agencia Federal de Protección Ambiental demuestran la relación inescapable entre la presencia de altas concentraciones de partículas suspendidas y bióxido de azufre y la ocurrencia de reducciones en la función pulmonar de niños entre los 5 y 13 años de edad.

### La contaminación del aire y la morbilidad relativa al sistema respiratorio

La contaminación del aire se ha relacionado con altas incidencias de enfermedades del sistema respiratorio, generalmente por daños al epitelio respiratorio, lo que hace a la persona más susceptible a infecciones por bacterias y virus. Esto se ha demostrado en niños en Inglaterra y en Japón. Estudios hechos por Jean C. French y sus colaboradores, de la Agencia Federal de Protección Ambiental, han demostrado esta correlación en varias áreas de los Estados Unidos donde existen grandes concentraciones de partículas suspendidas y de bióxido de azufre.

### La contaminación del aire y el desarrollo de enfermedades crónicas pulmonares de tipo obstructivo

Múltiples estudios, particularmente los realizados por el Sistema de Vigilancia Ambiental y de Salud Comunal de la Agencia Federal de Protección Ambiental, tienden a demostrar una correlación entre el residir en un área densamente contaminada con bióxido de azufre y el desarrollo y agravación de enfermedades crónicas pulmonares de tipo obstructivo, particularmente de bronquitis crónica. Lo interesante es que esta correlación existe en áreas donde los valores de bióxido de azufre no sobrepasan las normas nacionales de calidad del aire.

### Relación entre el desarrollo de cáncer del pulmón y la contaminación atmosférica

La toma de conciencia sobre el efecto que ejercen los factores ambientales en los patrones de mortalidad surgió cuando se reconoció la diferencia que presentan estos patrones en los países desarrollados y en los no desarrollados. En los últimos, las causas de muerte son mayormente de carácter infeccioso, predominando la tuberculosis, las pulmonías y las diarreas infecciosas. En los Estados Unidos, por otro lado, predominan las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades crónicas pulmonares de tipo obstructivo, tales como la bronquitis crónica y la efisema. En los países desarrollados la incidencia de cáncer del pulmón está tomando proporciones epidémicas. En el aire contaminado de algunas regiones existen compuestos denominados materia orgánica policíclica que son similares a los encontrados en el humo del cigarrillo.

Un sinnúmero de estudios señalan una estrecha correlación entre la incidencia de cáncer de pulmón y una alta densidad en el aire de estos compuestos, densidad determinada por la concentración de benzopireno, una de las mencionadas sustancias orgánicas policíclicas, la cual es altamente carcinogénica. Estudios al respecto, en varias partes del mundo, utilizando como base una comparación de la incidencia de cáncer del pulmón en áreas urbanas y rurales, demuestran una correlación en la incidencia del cáncer en migrantes en varios países.

Se ha observado un deterioro en algunos vegetales y otras plantas, lo cual ha movido a los científicos del mundo a estudiar los efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación y como resultado de estos estudios se ha encontrado que cada contaminante produce en la vegetación un efecto distinto.

El bióxido de azufre, producido durante la quema de combustibles que contienen azufre, causa que las hojas y tallos de las plantas se descoloren y bajo condiciones severas de contaminación se tornan color marrón. Se ha observado además que durante la exposición de las plantas a altas concentraciones de bióxido de azufre los poros de éstas se afectan de forma considerable.

Con relación a los efectos del gas ozono en la vegetación, se ha encontrado que este gas es el responsable de producir manchas en forma de rayas en las hojas de tabaco y en las hojas de los viñedos, y que, al igual que el bióxido de azufre, produce lesiones de color marrón oscuro o negras en las hojas de las plantas.

El fluoruro de hidrógeno es un ácido altamente corrosivo que se genera durante el proceso de derretir minerales de hierro. Debido a su alta corrosividad, ocasiona lesiones en la punta de las hojas de las plantas, aún en concentraciones pequeñas.

La materia particulada que se descarga a la atmósfera procedente de procesos industriales, sin control tecnológico, reduce el área de intercambio de bióxido de carbono, al depositarse en las hojas de las plantas, aún en concentraciones pequeñas.

La materia particulada que se descarga a la atmósfera procedente de procesos industriales, sin control tecnológico, reduce el área de intercambio de bióxido de carbono, al depositarse en las hojas, reduciendo así el proceso de fotosíntesis de las plantas.

Muchos científicos están en estos momentos estudiando el efecto del bióxido de azufre en la estructura celular de las plantas.

#### Efectos de contaminantes tóxicos y peligrosos

Además de los efectos en la salud de los contaminantes antes señalados, existen otros agentes contaminantes atmosféricos considerados aún más letales. Entre los contaminantes tóxicos y peligrosos podemos señalar el mercurio, el ozono y el plomo. Estos han demostrado ser perjudiciales a la salud aún en concentraciones bajas. Específicamente, afecta el sistema neurológico y la formación de componentes sanguíneos.

#### Efectos del plomo

El plomo penetra en el organismo humano, principalmente mediante procesos de ingestión e inhalación pasando luego al sanguíneo, el cual lo distribuye a los diferentes tejidos del cuerpo.

La exposición al plomo de la atmósfera ocurre cuando respiramos o en forma indirecta cuando ingerimos alimentos o agua contaminada con plomo.

El plomo se acumula en el cuerpo a través de los años, principalmente en los huesos. Además de afectar los sistemas neurológicos y sanguíneos, también afecta el sistema renal y puede afectar el sistema reproductivo, el endocrino, el hepático, el cardiovascular, el inmunológico y el gastrointestinal.

La Agencia Federal de Protección Ambiental (EPA) ha establecido normas de calidad de aire relativas a las concentraciones de plomo permisibles en la atmósfera. Dichas normas son aplicables en Puerto Rico.

#### Efectos del ozono

El ozono es un gas oxidante, altamente reactivo. Es azulado y tiene un olor penetrante. Este contaminante es un subproducto de una serie de reacciones fotoquímicas complicadas que ocurren en la atmósfera donde intervienen el óxido nitroso, los hidrocarburos y el monóxido de carbono.

Dependiendo de la concentración, el ozono produce irritación en la vista, la nariz y la garganta. También en altas concentraciones afecta la vegetación, siendo los más susceptibles ciertos vegetales como la lechuga, la espinaca y el tabaco.

Además, el ozono afecta materiales como la goma, los plásticos, los tintes y las pinturas.

#### D. Técnicas preventivas y de control de contaminación de aire

Tanto la comunidad industrial como el ciudadano y los organismos gubernamentales pueden contribuir grandemente a mejorar la calidad del aire existente. Mientras el gobierno desarrolla programas educativos y establece normas de desarrollo de proyectos y limitaciones para emisiones de contaminantes, la industria debe preocuparse por utilizar aquel equipo de control de contaminación adecuado, debe seleccionar aquellos lugares para establecerse, menos sujetos a deterioro ambiental y mantener vigilancia de las diferentes fases del proceso de producción.

Por otro lado, el ciudadano debe asegurar que no se contamine la atmósfera mediante la quema de desperdicios a campo abierto y debe involucrarse en actividades cívicas-sociales-culturales dirigidas a resolver los problemas ambientales de su comunidad.

Existen varias técnicas de remoción de contaminantes de aire que a continuación se explican:

##### 1. Técnica de remoción de contaminantes ácidos

Existen contaminantes de aire gaseosos-ácidos entre los cuales el bióxido de azufre es el más importante. Otros no tan comunes son el cloruro de hidrógeno y el gas cloro.

Por su condición ácida, estos contaminantes pueden ser removidos mediante una solución acuosa cáustica y lechadas alcalinas. La solución cáustica más barata es la lejía, también conocida como soda cáustica o hidróxido de sodio. Entre las lechadas, las más baratas son las hechas con piedra caliza o con magnesio. Ya sea lechada o solución, los gases contaminantes provenientes de la combustión deben entrar en contacto íntimo con la preparación cáustica o alcalina dentro de un lavador de gases ácidos. Los lavadores de gases tienen la función de hacer circular la preparación acuosa hasta que ésta alcance cierto nivel entre los contaminantes y la preparación cáustica o alcalina. El método de lavado de gases más utilizado es el de goteo o duchas donde la emisión

(contaminante) fluye a través de la ducha en forma de contracorrientes. Este tipo de lavado logra un 85% de eficiencia en remoción para bióxido de azufre y cloro. Además es útil en la remoción de particulados, aunque éste no es su propósito principal.

## 2. Remoción de contaminantes industriales alcalinos

Entre los contaminantes industriales alcalinos, el más utilizado es el amoníaco. Este es utilizado ampliamente por la industria farmacéutica y la química en la manufactura de productos. Además es utilizado en limpieza doméstica.

La tecnología utilizada para remover contaminantes alcalinos es básicamente similar a la utilizada para remover ácidos. La diferencia está en la preparación lavadora. Esta debe contener un ácido como el ácido sulfúrico, el cual es el más barato.

## 3. Remoción de particulados industriales

Aún cuando gran parte de los particulados pueden ser removidos mediante lavadores de ácidos o alcalinos, no hace falta disponer de una solución lavadora dentro de un lavador para su remoción. Basta con la circulación de agua para remover la mayor parte de los particulados.

La tecnología para remover particulados puede ser simple si las partículas a remover son relativamente grandes. Sólo es necesario un medio filtrante compuesto por una superficie con poros por donde deberán pasar los particulados. Los particulados que no pueden pasar a través de los poros se mantienen en la superficie de donde son rescatados. Estos filtros son muy utilizados en unidades de acondicionadores de aire y en neveras industriales, donde se remueven las partículas de polvo antes de que entre en la unidad enfriadora. Cuando las partículas son muy pequeñas o el flujo de emisiones es muy grande se recomienda utilizar la técnica de filtros electrostáticos. Mediante este método las emisiones se hacen pasar por un campo eléctrico al que se adhieren los particulados.

#### 4. Técnicas para la remoción de contaminantes provenientes de automóviles

Hasta ahora se han discutido técnicas de remoción de contaminantes en superficies fijas de donde son capturados antes de que los gases sean emitidos a la atmósfera. Existe otra forma de controlar las emisiones de contaminantes atmosféricos. Esta consiste en provocar una reacción química con el propósito de convertir una sustancia contaminante en otra menos contaminante para que el efecto adverso a la atmósfera sea menor. Esta última técnica es la utilizada para controlar los contaminantes provenientes de los medios de transportación. Los principales contaminantes provenientes de los automóviles son los hidrocarburos, el bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono. Veamos algunas técnicas para la remoción de estos contaminantes provenientes de automóviles:

##### a. Remoción de óxidos de nitrógeno

En el caso de los óxidos de nitrógeno, la remoción no ha sido económicamente factible por lo que se recurre a convertirlo en nitrógeno gaseoso. Para el logro de esta conversión se utilizan diferentes sistemas dentro del automóvil, pero todos tienen lo siguiente en común:

-Existe una superficie en algún punto dentro del silenciador del automóvil, impregnada de un agente catalítico que facilita la conversión de óxido de nitrógeno a nitrógeno gaseoso a baja temperatura.

-Existe una bomba mecánica accionada por la polea del abanico del radiador que extrae vapores de gasolina desde algún punto del carburador o extrae aire desde el gorro del carburador para suplir oxígeno o hidrocarburos, dependiendo de la reacción que se desee obtener para la conversión. Debido a que se desea una reducción, la razón entre el contenido de oxígeno y de hidrocarburos que llega al agente catalítico debe favorecer una mezcla reductora.

b. Control de hidrocarburos, bióxido de azufre y monóxido de carbono

Estos contaminantes provenientes de automóviles se pueden controlar con medidas oxidativas, o sea, lo contrario a técnicas reductoras. Para lograr una mezcla oxidativa, sólo es necesario añadir oxígeno por medio de una bomba y pasar la mezcla por un catalítico en el silenciador del automóvil. El catalítico generalmente consiste de platino o paladio lo que simplifica el proceso. De esta forma, el monóxido de carbono se convertirá en bióxido de carbono, el hidrocarburo se convertirá en monóxido de carbono y el bióxido de azufre se convertirá en trióxido de azufre. Una vez el bióxido de azufre se convierte en trióxido de azufre, éste reacciona con el agua de las emisiones del silenciador para convertirse en ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico forma pequeñas gotas de líquido en la atmósfera, las cuales absorben humedad de ésta para formar gotas más grandes que son visibles y conocidas por el hombre como neblina fotoquímica.

c. Filtros de carbón activado

Otra técnica para el control de las emisiones de los automóviles consiste en el uso de filtros de carbón activado, los cuales se colocan anterior a los otros controles de contaminación. El filtro tiene la función de remover los hidrocarburos más pesados y los particulados que salen de la cámara de combustión del automóvil.

En la industria, esta técnica puede ser utilizada para remover mercurio. Para la remoción de mercurio es necesario impregnar las partículas del filtro activado con otro metal que mezcle con el mercurio, como por ejemplo, la plata, el oro o el cobre.

E. Principales contaminantes atmosféricos

Como se señalara anteriormente, los principales contaminantes del aire son el bióxido de carbono, la materia particulada, el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno, el bióxido de azufre, los oxidantes fotoquímicos, el plomo y el ozono. A continuación se discute la naturaleza y procedencia de estos contaminantes.

1. Bióxido de carbono – es un gas incombustible, incoloro e inodoro, que se produce al quemar combustible con un alto contenido de azufre. En Puerto Rico, este contaminante es producido principalmente por las plantas de producción de energía.
2. Materia particulada – este contaminante procede de los procesos de combustión, de molienda, de la fricción y el fraccionamiento y del manejo de materia granulada. Las fuentes principales de éste son las centrales azucareras, las asfalteras y las plantas de producir cemento.
3. Monóxido de carbono – es un gas altamente tóxico que se produce mediante la combustión incompleta de compuestos orgánicos, de la combustión interna de los vehículos de motor y de la quema de basura.
4. Bióxido de nitrógeno – este contaminante es producto de la quema de combustible a altas temperaturas. Las principales fuentes son los vehículos de motor y las plantas de energía eléctrica.
5. Bióxido de azufre – es un gas ácido, corrosivo y venenoso que se produce mayormente mediante la quema de combustible con alto contenido de azufre. Las áreas de Puerto Rico más expuestas a este contaminante son: Cataño, Yabucoa, Guayanilla, Peñuelas, Guaynabo y Barceloneta.
6. Oxidantes fotoquímicos – estos se forman mediante la acción de la luz solar sobre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos.
7. Plomo – la fuente principal de contaminación por plomo la constituyen los automóviles que utilizan gasolina con plomo. Esto ha sido demostrado por estudios llevados a cabo por la Junta de Calidad Ambiental. Actualmente, este contaminante ya no se utiliza en la gasolina.
8. Ozono – el ozono es un gas oxidante y altamente reactivo. Este es un subproducto de una serie de reacciones fotoquímicas complicadas que ocurren en la atmósfera donde intervienen el óxido de nitrógeno, los hidrocarburos y el monóxido de carbono.