

CAPÍTULO 5

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE



Fuente: http://www.epchc.org/new_page_7.htm

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado.

Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que se respira.

SMOG

En las grandes ciudades no es extraño ver el cielo cubierto por aire denso y gris. Se trata del smog, que es una mezcla química de humo y niebla, que es extremadamente desagradable y nocivo para la salud. Es un tipo de polución atmosférica con concentraciones de óxido de sulfuro y de nitrógeno, hidrocarburos y millones de partículas de plomo, manganeso, cobre, níquel, cinc y carbón.

Todas estas sustancias tienen origen en las chimeneas de las industrias, los humos de las calefacciones, y miles de automóviles. La palabra smog, proviene del inglés *smoke*= humo y *fog*=niebla. Hay dos tipos muy diferentes de *smog*:

Smog Industrial

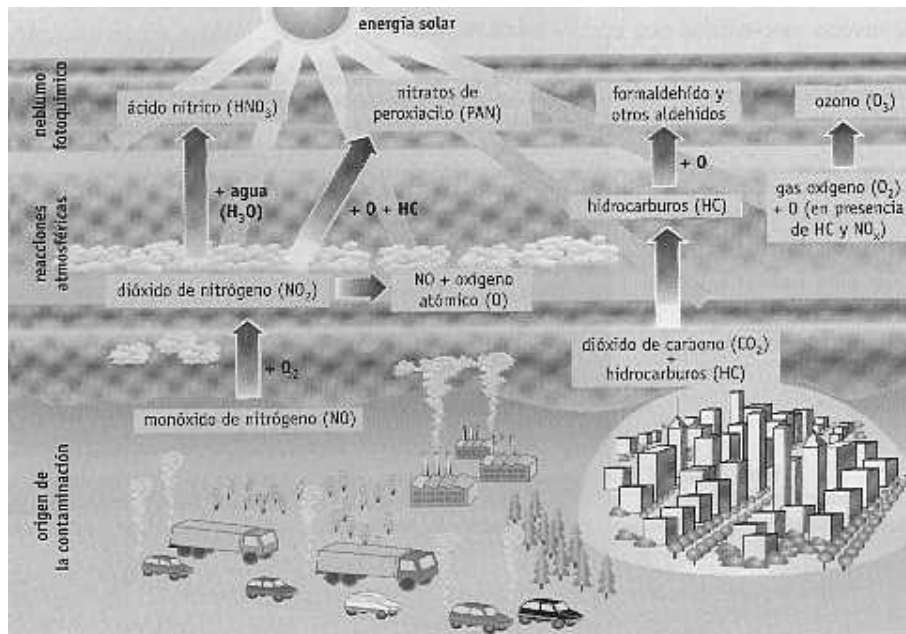
El llamado smog industrial de color gris fue muy típico en algunas ciudades grandes, como Londres o Chicago, con mucha industria, en las que, hasta hace unos años, se quemaban grandes cantidades de carbón y petróleo pesado con mucho azufre, en instalaciones industriales y de calefacción. En estas ciudades se formaba una mezcla de dióxido de azufre, gotitas de ácido sulfúrico y una gran variedad de partículas sólidas en suspensión, que originaba una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas y para la conservación de edificios y materiales.

Smog Fotoquímico

En muchas ciudades el principal problema de contaminación es el llamado smog fotoquímico. Con este nombre nos referimos a una mezcla de contaminantes (NO_x e hidrocarburos volátiles) con otros (ozono, peroxiacilo, radicales hidroxilo, etc.) que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los primeros.

Esta mezcla oscurece la atmósfera dejando un aire teñido de color marrón rojizo cargado de componentes dañinos para los seres vivos y los materiales. Aunque prácticamente en todas las ciudades del mundo hay problemas con este tipo de contaminación, es especialmente importante en las que están en lugares con clima seco, cálido y soleado, y tienen muchos vehículos.

El verano es la peor estación para este tipo de polución y, además, algunos fenómenos climatológicas, como las inversiones térmicas, pueden agravar este



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Smog.htm>

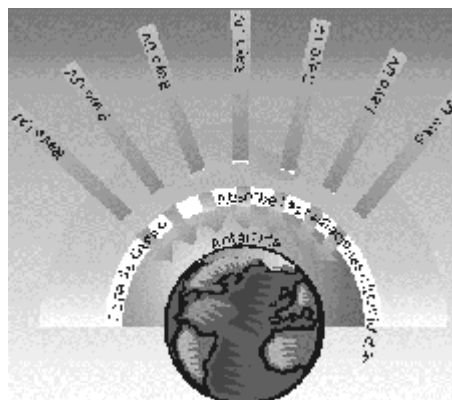
problema en determinadas épocas ya que dificultan la renovación del aire y la eliminación de los contaminantes.

DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

El ozono se encuentra de dos maneras:

1. El ozono formado en la atmósfera (desde la superficie de la tierra hasta 15 kilómetros de altura), es muy nocivo para los seres vivos, pues además de ser un contaminante, participa en el efecto invernadero. En este caso es un contaminante que es llamado secundario porque no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma en el aire cuando los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan bajo la luz del sol generalmente en los días tibios y soleados con temperaturas que oscilen entre los 24° y 32°C . En los últimos años los niveles de ozono han aumentado considerablemente.

2. Por otro lado, forma parte de las capas superiores de la atmósfera (se lo encuentra en la estratósfera unos 25 kilómetros de altura) y funciona como un compuesto vital, ya que ayuda a filtrar los rayos ultravioleta provenientes del sol y evita que el 90% de la radiación solar ultravioleta atraviese la atmósfera y cause algún daño en las cosechas o en las células de los organismos vivos, ya que puede provocar cáncer en la piel.



Fuente: http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/aire/11capa_ozono.htm

El ozono es muy dañino si se encuentra en la troposfera, pero también nos protege de los rayos ultravioleta encontrándose en la estratósfera. En 1984 se descubrió un agujero en la capa estratosférica de ozono localizada sobre la Antártida. Esto era inesperado, a pesar de la advertencia de algunos científicos, planteada desde hacía décadas pero rechazada especialmente por la industria química, de que los clorofluorocarbonados (CFC) podrían dañar la capa de ozono.

Los CFC afectan la capa de ozono cuando, al llegar a la atmósfera, se rompen por medio de algunas reacciones químicas y producen monóxido de cloro (ClO), el cual reacciona con el ozono (O_3) quitándole un átomo de oxígeno y convirtiéndolo en una molécula diatómica (O_2), el cual no sirve para filtrar los rayos ultravioleta (UV) del sol.

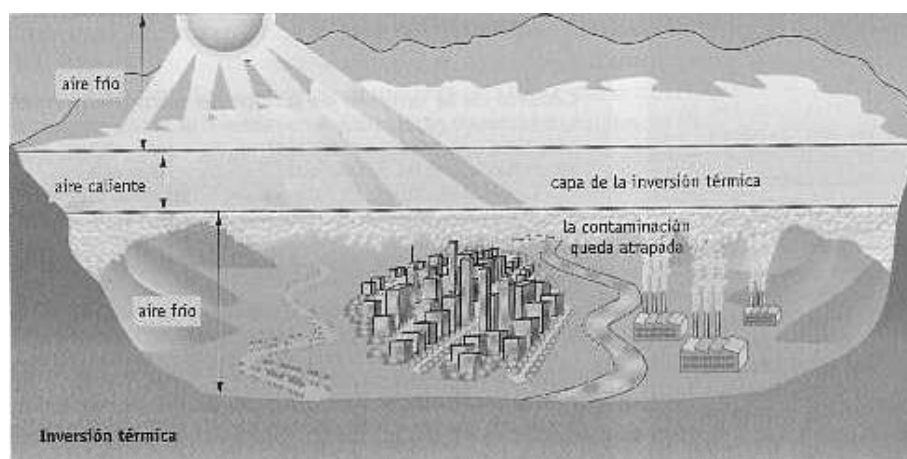
Se calcula que una molécula de monóxido de cloro (ClO) puede destruir millones de moléculas de ozono. Si a esto le agregamos que los clorofluorocarbonados (CFC) son moléculas muy estables, las cuales duran casi 20 años como tales en la atmósfera, entonces todavía en el futuro, infinidad de moléculas de la capa de ozono serán destruidas. Se piensa que de seguir la tasa actual de disminución de la capa de ozono, en corto plazo se habría de presentar graves efectos sobre los seres vivos, pues la exposición a los rayos ultravioleta puede causar cáncer de piel, cataratas y disfunciones del sistema inmunológico, así como, un rendimiento menor de los cultivos, y lo más grave, una disminución en la productividad del fitoplancton, principal productor del medio oceánico.

INVERSIÓN TÉRMICA

El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando en las noches despejadas el suelo ha perdido calor por radiación, las capas de aire cercanas a él se enfrían más rápido que las capas superiores de aire lo cual provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud (lo que es un fenómeno contrario al que se presenta normalmente, la temperatura de la troposfera disminuye con la altitud). Esto provoca que la capa de aire caliente quede atrapada entre las 2 capas de aire frío sin poder circular, ya que la presencia de la capa de aire frío cerca del suelo le da gran estabilidad a la atmósfera porque prácticamente no hay convección térmica, ni fenómenos de transporte y difusión de gases y esto hace que disminuya la velocidad de mezclado vertical entre la región que hay entre las 2 capas frías de aire.

El fenómeno climatológico denominado inversión térmica se presenta normalmente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta este fenómeno en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca provocando el gradiente positivo de temperatura.

Cuando se emiten contaminantes al aire en condiciones de inversión térmica, se acumulan (aumenta su concentración) debido a que los fenómenos de trans-



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Inver.htm>

porte y difusión de los contaminantes ocurren demasiado lentos, provocando graves episodios de contaminación atmosférica de consecuencias graves para la salud de los seres vivos.

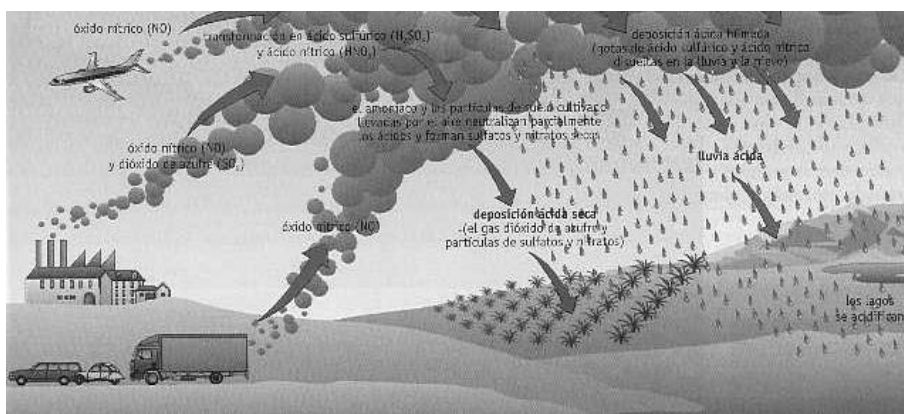
La inversión térmica es un fenómeno peligroso para la vida cuando hay contaminación porque al comprimir la capa de aire frío a los contaminantes contra el suelo la concentración de los gases tóxicos puede llegar hasta 14 veces más. Condiciones de inversión térmica de larga duración con contaminantes de bióxido de azufre y partículas de hollín causaron la muerte de miles de personas en Londres, Inglaterra en 1952 y en el Valle de Ruhr, Alemania en 1962. Generalmente, la inversión térmica se termina (rompe) cuando se calienta el suelo y vuelve a emitir calor lo cual restablece la circulación normal en la troposfera.

LLUVIA ÁCIDA

En la atmósfera los óxidos de nitrógeno (NOx) y azufre (SOx) son convertidos en ácido nítrico y sulfúrico que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca).

Los efectos de la lluvia ácida se presentan en:

- a. **Ecosistemas acuáticos.** En ellos está muy demostrada la influencia negativa de la acidificación. Fue precisamente observando la situación de cientos de lagos y ríos de Suecia y Noruega, entre los años 1960 y 1970, en los que se vio que el número de peces y anfibios iba disminuyendo de forma acelerada y alarmante, cuando se dio importancia a esta forma de contaminación. La reproducción de los animales acuáticos es alterada, hasta el punto de que muchas especies de peces y anfibios no pueden subsistir en aguas con pH inferiores a 5,5. Especialmente grave es el efecto de la lluvia ácida en lagos situados en terrenos de roca no caliza, porque cuando el terreno es calcáreo, los iones alcalinos son abundantes en el suelo y neutralizan, en gran medida, la acidificación; pero si las rocas son granitos, o rocas ácidas pobres en cationes, los lagos y ríos se ven mucho más afectados por una deposición ácida que no puede ser neutralizada por la composición del suelo.
- b. **Ecosistemas terrestres.** La influencia sobre las plantas y otros organismos terrestres no está tan clara, pero se sospecha que puede ser un factor muy importante de la llamada "muerte de los bosques" que afecta a grandes extensiones de superficies forestales en todo el mundo. También parece



Fuente: <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecología/hipertexto/10Catm1/330Inver.htm>

muy probable que afecte al ecosistema terrestre a través de los cambios que produce en los suelos, pero se necesita seguir estudiando estos temas para conocer mejor cuales pueden ser los efectos reales.

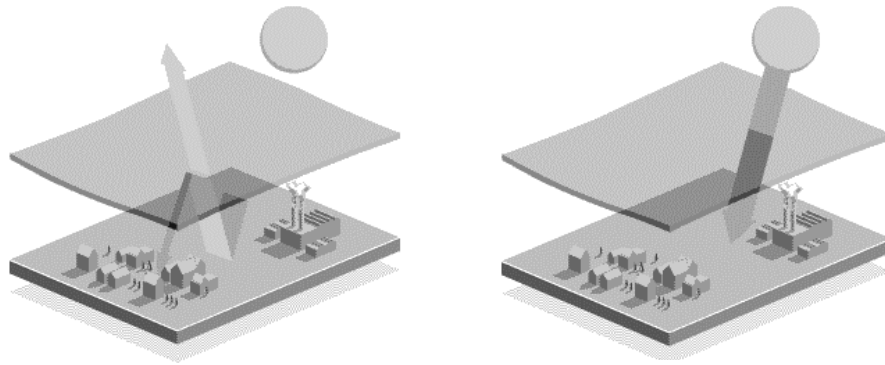
- c. Edificios y construcciones.** La corrosión de metales y construcciones es otro importante efecto dañino producido por la lluvia ácida. Muchos edificios y obras de arte situadas a la intemperie se están deteriorando decenas de veces más aprisa que lo que lo hacían antes de la industrialización y esto sucede por la contaminación atmosférica, especialmente por la deposición ácida.

EFFECTO INVERNADERO

El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂) y el gas metano forman una capa natural en la atmósfera terrestre que retiene parte de la energía proveniente del Sol. El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de las concentraciones de CO₂ y metano, además de otros gases, como el óxido nítrico, que aumentan el efecto invernadero.

La superficie de la Tierra es calentada por el Sol. Pero ésta no absorbe toda la energía sino que refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.

Alrededor del 70% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra es devuelta al espacio. Pero parte de la radiación infrarroja es retenida por los



Fuente: http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghouse_4.shtml

gases que producen el efecto invernadero y vuelve a la superficie terrestre. Como resultado del efecto invernadero, la Tierra se mantiene lo suficientemente caliente como para hacer posible la vida sobre el planeta.

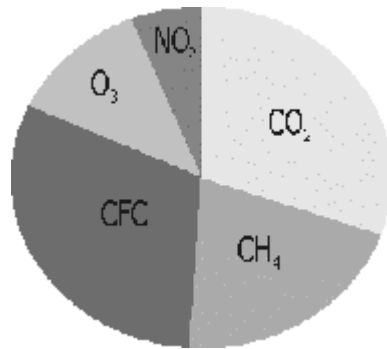
De no existir el fenómeno, las fluctuaciones climáticas serían intolerables. Sin embargo, una pequeña variación en el delicado balance de la temperatura global puede causar graves estragos. En los últimos 100 años la Tierra ha registrado un aumento de entre 0,4 y 0,8°C en su temperatura promedio.

Es causado por el aumento en la concentración de los gases de invernadero: el dióxido de carbono (CO_2), los clorofluorocarbonados (CFC), el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (N_2O) y el ozono de la tropósfera.

La radiación solar pasa a través de ellos, pero atrapan y conservan el calor de la radiación infrarroja reflejada por la superficie del suelo, aumentando así la temperatura de la atmósfera baja. La influencia de cada uno de estos gases en el efecto de invernadero se ha calculado en porcentajes que muestra la siguiente figura.

CAMBIO CLIMÁTICO

Por lógica muchos científicos piensan que a mayor concentración de gases con efecto invernadero se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra. A partir de 1979 los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al



CO₂ Causa alrededor del 30% del efecto

CH₄ Causa alrededor del 20% del efecto

CFC Causa alrededor del 30% del efecto

O₃ Causa alrededor del 12% del efecto

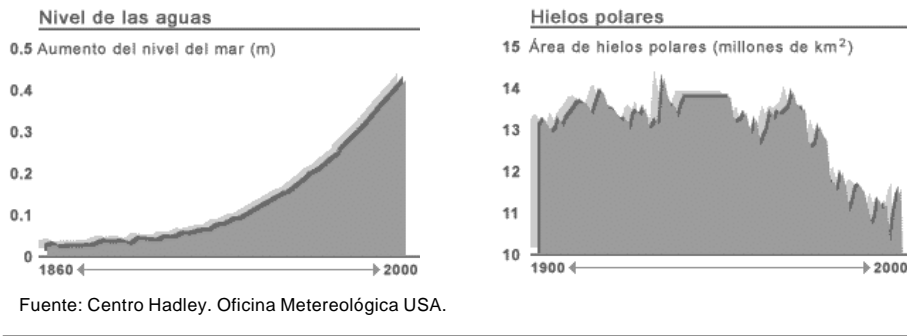
N₂O Causa alrededor del 6% del efecto

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/ubea/educacion/aire/13inverna.htm>

doble en la concentración del CO₂ en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre 1,5 y 4,5 °C.

Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Asimismo el calentamiento se produciría con retraso respecto al incremento en la concentración de los gases con efecto invernadero. Al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Sólo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO₂ se producirá el calentamiento final.

No es posible predecir con gran seguridad lo que pasaría en los distintos lugares, pero es previsible que los desiertos se hagan más cálidos pero no más húmedos, lo que tendría graves consecuencias en el Oriente Medio y en África donde el agua es escasa. Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y gran parte de los casquetes polares se fundirían, poniendo en peligro las ciudades y campos situados en los valles que se encuentran por debajo del glaciar. Grandes superficies costeras podrían desaparecer inundadas por las aguas que ascenderían de 0,5 a 2 m., según diferentes estimaciones. Unos 118 millones de personas podrían ver inundados los lugares en los que viven por la subida de las aguas. Tierras agrícolas se convertirían en desiertos y, en general, se producirían grandes cambios en los ecosistemas terrestres. Estos cambios supondrían una gigantesca convulsión en nuestra sociedad, que en un tiempo relativamente breve tendría que hacer frente a muchas obras de contención del mar, emigraciones de millones de personas, cambios en los cultivos, etc.



VISIBILIDAD

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO₂ en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO₂ elevadas.

EROSIÓN

El viento es un eficiente agente de erosión y su acción, particularmente en zonas de climas áridos, semiáridos y desérticos, es responsable del transporte y deposición de grandes volúmenes de sedimentos con desarrollo de un paisaje eólico típico.

El viento transporta las partículas de los suelos de tres maneras:

- Por arrastre: las partículas más gruesas (500 - 2000 micrones).
- Por saltación: las partículas medianas (100 - 500 micrones).
- En suspensión: las partículas pequeñas o livianas (< 100 micrones).

La erosión eólica se ejerce mediante dos procesos: Abrasión y deflación. Cuando las partículas sueltas que se hallan sobre la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el aire, estamos hablando de deflación (derivado del latín «soplar»); este proceso actúa donde la superficie del terreno está completamente seca y recubierta de pequeños granos de arena sueltos procedentes de la meteorización de la roca o previamente depositadas por el agua en movimiento, el hielo o las olas.

Por lo tanto, los cursos de los ríos secos, las playas y las áreas recientemente cubiertas por depósitos glaciares son muy susceptibles a la deflación; este proceso eólico de deflación es selectivo. Las partículas más finas, las que constituyen el barro, la arcilla y los limos, son levantadas muy fácilmente y transportadas en suspensión. Los granos de arena se mueven únicamente si el viento es fuerte y tienden a desplazarse a poca altura del suelo. La grava y los cantos de 5 a 8 mm de diámetro suelen rodar por el suelo llano cuando el viento es muy intenso, pero no recorren grandes distancias ya que es muy fácil que queden retenidos en agujeros.

EFFECTOS EN LA SALUD

La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos, ha causado muertes como resultado de la combinación de características geográficas inusuales con factores climáticos. Los contaminantes atmosféricos liberados por los vehículos automotores tienen diferentes efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos. La inhalación es la ruta principal de exposición a los contaminantes del aire originado por las emisiones de los vehículos.

Asimismo existen otras vías de exposición, como la contaminación del agua potable, la contaminación de los alimentos y la absorción por la piel. La exposición por inhalación afecta directamente los sistemas respiratorio, nervioso y cardiovascular de los seres humanos, provocando deficiencias pulmonares, distintas enfermedades e incluso la muerte. Los contaminantes de aire, tanto gaseosos como particulados, pueden tener efectos negativos sobre los pulmones.

La contaminación del aire ocurre tanto en exteriores (ambiental) como en interiores. Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud varían enormemente de persona en persona. Los más afectados por la contaminación del aire son los ancianos, lactantes, mujeres embarazadas y enfermos crónicos del pulmón y corazón.

Las personas que hacen ejercicios al aire libre también están propensas pues respiran más rápida y profundamente, lo que permite el ingreso de más contaminantes a los pulmones. Los corredores y ciclistas que se ejercitan en áreas de gran tránsito se pueden causar más daño que beneficio.

A continuación se mencionan algunos contaminantes y su efecto en la salud.

Cuadro 5-1. Efectos en la salud por exposición al monóxido de carbono

Concentración de Carboxihemoglobina en la sangre(%)	EFECTO OBSERVADO
2,3 - 4,3	Disminución en la capacidad de realizar un ejercicio máximo en un corto tiempo en individuos jóvenes saludables
2,9 - 4,5	Disminución en la duración de ejercicios, debido a dolor de pecho (angina), en pacientes con enfermedades al corazón
5 - 5,5	Disminución en la percepción visual y auditiva. Pérdida en la capacidad sensorial, motora y de vigilancia
5,0 - 17,0	Disminución en el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio
7,0 - 20,0	Dolor de cabeza, decaimiento
20,0 - 30,0	Mareos, náuseas, debilidad
30,0	Confusión, colapso durante el ejercicio
40,0	Pérdida de conciencia y muerte si la exposición continúa
50,0	Muerte

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Monóxido de Carbono

El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia.

El CO afecta el suministro de Oxígeno en el torrente sanguíneo, se une a la hemoglobina formando la carboxihemoglobina (CoHb). La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. La ingesta de CO afecta la percepción y el pensamiento, desacelera los reflejos, y puede causar mareos, angina, inconsciencia o la muerte. El peligro es más evidente en neonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas.

Oxidos de Azufre

El SO₂, un gas irritante que se absorbe por la nariz y en las superficies acuosas de las vías respiratorias superiores, está asociado con una disminución de la función pulmonar y un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad. Los efectos adversos para la salud del SO₂ son, entre otros, tos, flema, malestar en el pecho y bronquitis. Algunas de las emisiones de SO₂ procedentes de fuentes móviles o fijas son transformadas en la atmósfera en sulfatos en aerosoles que guardan relación con la mortalidad y la morbilidad.

Dióxido de Nitrógeno

El NO₂ es un gas irritante que se absorbe en la membrana mucosa de las vías respiratorias. El efecto del NO₂ más adverso para la salud se produce en la intersección de las vías respiratorias y la región de intercambio gaseoso de los pulmones. Las vías superiores se ven menos afectadas porque el NO₂ no es muy soluble en superficies acuosas.

La exposición al NO₂ está vinculada a una mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias, una mayor resistencia de las vías respiratorias en los asmáticos y una disminución de la función pulmonar. La exposición breve al NO₂ se ha vinculado a una amplia gama de enfermedades de las vías respiratorias inferiores en los niños (tos, descarga nasal y dolor de garganta son las más comunes) así como a una mayor sensibilidad al polen y al polvo de las zonas urbanas.

Los efectos para la salud de la exposición al NO₂ por razones laborales abarcan desde la inflamación de la membrana mucosa del árbol traqueobronqueal a la bronquitis, la bronconeumonía y el edema pulmonar agudo.

Cuadro 5-2. Efectos en la salud por exposición al bióxido de nitrógeno

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	EFEECTO OBSERVADO
5	14 horas	Individuos normales, Incremento de la resistencia de las vías aéreas. Aumento de la hiperreactividad bronquial
2.5	2 horas	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.
1	2 horas	Individuos normales: Pequeño cambio en la capacidad vital forzada.
0.5-5	3 – 60 min	Individuos con bronquitis crónica: Incremento de la resistencia de las vías aéreas
0.5	20 min.	Individuos asmáticos: con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de la tasa máxima de flujo expiratorio

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Compuestos Orgánicos Volátiles

El benceno tiene efectos tóxicos y carcinógenos, aproximadamente el 50% del benceno inhalado es absorbido. Parte del benceno absorbido es exhalado por la respiración y eliminado por las vías urinarias. El benceno que permanece en el organismo se concentra en el tejido graso y en la médula ósea.

Los efectos tóxicos están vinculados al sistema nervioso central así como a los sistemas hematológico e inmunológico. Los efectos tóxicos sobre el sistema nervioso han sido observados tras la exposición a concentraciones mayores a 3.200 mg/m³ (1.000 ppm). En estudios de exposición por razones de trabajo a altos niveles de benceno se ha encontrado que puede lesionar las vías respiratorias, el tejido pulmonar y la médula Ósea y que puede provocar la muerte. Entre los efectos carcinógenos se incluye la leucemia. Se estima que la exposición durante toda la vida a 1 mg/m³ de benceno eleva el riesgo de que se produzcan de 0,08 a 10 muertes adicionales por leucemia por cada millón de habitantes.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos, absorbidos en los pulmones y en los intestinos, y metabolizados en el organismo, son mutagénicos y carcinógenos. En estudios epidemiológicos se ha identificado un riesgo 50% mayor de cáncer de la vejiga en los conductores de camiones y repartidores expuestos a los gases del escape de los motores diesel.

Los aldehídos son absorbidos en las vías respiratorias y en el tracto gastrointestinal y son metabolizados. Una vez metabolizados son excretados del organismo. Los efectos nocivos de los formaldehídos sobre la salud incluyen la irritación de ojos y nariz (a una concentración de 0,06 mg/m³), irritación de las membranas mucosas y alteración en la respiración (a una concentración de 0,12 mg/m³), tos, náusea y disnea. La exposición al formaldehído por razones de trabajo esta vinculada al riesgo de cáncer.

Clorofluorocarbonos, se sospecha que la exposición a una mayor radiación de UV-B eleva el riesgo de cáncer de piel y de enfermedades oculares (especialmente las cataratas) y afecta al sistema inmunológico.

Ozono

Uno de los contaminantes inducidos por el tránsito más generalizado es el ozono que se forma en la troposfera, uno de los ingredientes principales del *smog* urbano. Se han observado efectos nocivos del ozono sobre la salud incluso en períodos de exposición de apenas 5 minutos. Estos efectos se vuelven mucho más pronunciados en períodos más largos (por ejemplo, más de 6 horas) a niveles de ejercicio moderados. Se han notificado cambios en la función pulmonar en exposiciones de una a tres horas durante el ejercicio. El ozono puede provocar daños graves a los tejidos pulmonares y reducir las defensas contra las bacterias y los virus.

Se han registrado efectos nocivos a corto plazo sobre la salud en exposiciones de una hora a concentraciones de ozono de apenas 200 mg/ m³. Estos efectos incluyen, entre otros, irritación de los ojos, la nariz y la garganta, tos, sequedad de la garganta, dolores en el pecho, mayor producción mucosa, opresión en el pecho, lasitud, malestar y náusea. Se ha notificado una reducción en las funciones pulmonares de niños y jóvenes en concentraciones promedio de ozono en una hora comprendidas entre 160 mg/m³ y 300 mg/m³.

Cuadro 5-3. Efectos en la salud por exposición al Ozono

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición	EFFECTO OBSERVADO
0.08 - 0,15		Tos y dolor de cabeza
0,12	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Disminuye la Tasa Máxima de Flujo respiratorio y la Capacidad Vital Forzada. Incrementa la sensibilidad de las vías aéreas, lo cual podría significar un aumento en la respuesta a otros contaminantes.
0,12	2 - 5 horas	Disminución de la función pulmonar en niños y adultos, durante ejercicio fuerte
0,24	1 - 3 horas	En individuos sanos, durante el ejercicio: Incremento en la frecuencia respiratoria, disminución en la resistencia de las vías aéreas, disminución de la función pulmonar.

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Cuadro 5-4. Efectos en la salud por exposición a material particulado

Concentración (g/m3)	EFFECTO OBSERVADO	Impacto
200	Disminución en la capacidad respiratoria	Moderado
250	Aumento de enfermedades respiratorias en niños y ancianos	Moderado
400	Afecta a toda la población	Grave
500	Aumento de mortalidad en adultos mayores y enfermos	Muy grave

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Material Particulado

Las partículas de más de 10 μm de diámetro, inhaladas por la nariz, se depositan en la sección extratorácica de las vías respiratorias, en tanto que las fracciones de 2,5 μm a 10 μm se depositan cerca de las vías aéreas finas. Las MP-2,5 preocupan más porque pueden evadir el sistema de defensa del aparato respiratorio humano y llegar al tejido pulmonar, donde pueden permanecer alojadas durante años o, en el caso de las partículas solubles, pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo (ALA 1997). La deposición de las MP se incrementa cuando se respira por la boca.

La presencia de partículas en el aire ambiente se ha vinculado a una mayor mortalidad y morbilidad y una función pulmonar disminuida. Se han observado efectos nocivos en la salud de niños y adultos: tos y enfermedades respiratorias como la neumonía, el asma y la bronquitis.

Plomo

La mayor parte del plomo en el aire ambiente se encuentra en forma de partículas finas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 μm (MP-10). El aire del ambiente también contiene compuestos de plomo orgánico en forma de gases. Los vehículos automotores son la fuente principal de plomo en el aire ambiente de muchos centros urbanos de América Latina, donde todavía se utiliza gasolina con aditivos de plomo. Los adultos retienen del 20% al 60% de partículas transportadas por el aire, y los niños tienen una tasa de deposición pulmonar que puede ser 2,7 veces más alta que la de los adultos en base a la unidad de masa corporal. La proporción de plomo que se absorbe en el tracto gastrointestinal es de alrededor de 10% a 15% para los adultos y hasta el 50% para los niños.

La absorción de plomo se eleva en dietas con bajos niveles de calcio, vitamina D, hierro y zinc. El plomo absorbido en el organismo se distribuye en los huesos, los dientes, la sangre y los tejidos blandos. La mayor parte se concentra en los huesos (70% en los niños y 95% en los adultos). El plomo que no es absorbido es excretado en las heces, y del 50% al 60% del plomo absorbido es descargado por las vías urinarias. El plomo orgánico es absorbido principalmente por los pulmones, por las vías respiratorias y también por la piel. Con base en una revisión de estudios epidemiológicos, se encontró una asociación entre un incremento de 1 mg/m^3 de las concentraciones de plomo en el aire ambiente y un incremento de los niveles de este metal en la sangre de 0,3 mg/dl a 0,5 mg/dl .

Cuadro 5-5. Efectos en la salud por exposición al plomo

Concentración de plomo en la sangre (g/100ml)	Efectos observados
10	Inhibición de la actividad de la enzima AAL=D Edad gestacional reducida (exposición prenatal) Bajo peso al nacer (Exposición prenatal) Retardo en el crecimiento
12	Interferencia en el metabolismo de la vitamina D
15 - 20	Elevación de protoporfirinas eritrocitarias Alteraciones electrofisiológicas en el SNC
20	Alteraciones conductuales, déficit en la atención
30	Disminución en la conducción nerviosa periférica
40	Aumento del AAL en el suero y del AAL-U Aumento de las CP-0 Reducción en la producción de hemoglobina Velocidad de conducción nerviosa periférica reducida Alteraciones en el aprendizaje Nefropatía (aminoaciduria) Síntomas gastrointestinales
50	Disminución marcada del cociente de inteligencia
70	Anemia franca Nefropatía grave
80	Encefalopatía Daño cerebral grave Retardo mental grave

Fuente: <http://www.ucbcba.edu.bo/carreras/ingma/actividades/peaton2/peaton2000salud.htm>

Se han observado efectos adversos de la exposición al plomo en niños pequeños, mujeres en edad reproductiva y hombres adultos. Los recién nacidos y los niños pequeños son los más vulnerables. Las exposiciones a los niveles de plomo que comúnmente se encuentran en los medios urbanos constituyen un peligro significativo para los niños, sobre todo los menores de 6 años. Los niños con altos niveles de plomo acumulado en los dientes de leche tienen un cociente intelectual más bajo, pérdida de la memoria de corta duración, dificultades para leer y deletrear, impedimentos de la función visomotora, integración deficiente de la percepción, indisciplina en clase y alteraciones en el tiempo de reacción (USEPA, 1990).

Con base en una revisión reciente de estudios epidemiológicos, se encontró que un incremento del nivel de plomo en la sangre de los niños de 10 mg/dl se

vinculaba a la reducción de 2,5 puntos del cociente intelectual (CDC 1991). Las mujeres adultas en edad reproductiva también se encuentran en un grupo de alto riesgo dado que los niveles de plomo de las gestantes están estrechamente correlacionados con los de los recién nacidos. Las personas que están expuestas al plomo en el trabajo, como los policías de tránsito que inhalan las partículas de plomo arrastradas por el aire, también padecen efectos perjudiciales en su salud. En los adultos, el plomo en la sangre está vinculado a una mayor incidencia de hipertensión arterial. No se han identificado aún umbrales de los efectos adversos del plomo sobre la salud.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



1. Los compuestos sintéticos, tales como clorofluorocarbonos, están agotando la capa de ozono en la estratosfera
 - a. Verdadero
 - b. Falso

2. ¿Qué sistema del cuerpo humano está más directamente afectado por la contaminación del aire?
 - a. Sistema circulatorio
 - b. Sistema digestivo
 - c. Sistema respiratorio
 - d. Sistema nervioso

3. ¿Cómo se forma el smog?
 - a. Por la reacción de los contaminantes con la luz solar
 - b. Mediante la recolección de contaminantes en gotas de agua
 - c. Por la combinación de contaminantes, vapor de agua y ozono
 - d. Por la reacción del oxígeno, nitrógeno y contaminantes

4. La exposición de algunos contaminantes pueden ser dos a cinco veces mayor en interiores que exteriores.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

5. La lluvia ácida se forma cuando se combinan contaminantes como óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno con agua en la atmósfera.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

- 
- 
6. ¿Qué sistema en el cuerpo humano está más afectado por el plomo?
 - a. Aparato respiratorio
 - b. Aparato circulatorio
 - c. Sistema nervioso central
 - d. Sistema digestivo

 7. El sonido se vuelve dañino para la salud humana a partir de los 75 dB.
 - a. Verdadero
 - b. Falso

 8. Según la opinión más extendida, el cambio climático podría aumentar la temperatura de la Tierra en los próximos 100 años
 - a. Entre unos 1,5 y 4,5°C
 - b. Entre 1,3 y 4,4°C
 - c. Entre unos 1,5 y 4,9°C
 - d. Entre unos 1,1 y 4,5°C