

COMPETENCIA SOBRE AGUA, ENERGÍA Y AMBIENTE

5° ciclo - año 2011

Bibliografía 19° programa:

Temas:

1) CONTAMINACIÓN DEL AIRE

2) ENERGÍA EÓLICA

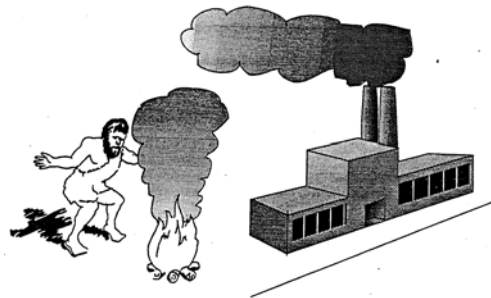
1 - Contaminación del aire

Introducción

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo.

El origen de nuestros problemas modernos de contaminación del aire puede remontarse a la Inglaterra del siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial. La industrialización comenzó a reemplazar las actividades agrícolas y las poblaciones se desplazaron del campo a la ciudad. Las fábricas para producir requerían energía mediante la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón y el petróleo.

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX fue el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de energía. La situación empeoró con el creciente uso del automóvil. Con el tiempo, se presentaron episodios importantes de salud pública a causa de la contaminación del aire en ciudades como Londres, Inglaterra y Los Ángeles, en los Estados Unidos.



En efecto, muchos de los logros tecnológicos del hombre se han alcanzado a costa de la contaminación de la atmósfera.

Desde 1957, a raíz de una conferencia en Milán sobre los aspectos de salud pública relacionados con la contaminación del aire en Europa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha preocupado por este tema, especialmente por sus efectos sobre la salud.

Cuando la OPS creó en 1967 su programa regional de estaciones de muestreo de la contaminación del aire, ningún país conocía la magnitud real de sus problemas de contaminación atmosférica. Con esta iniciativa, a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) que iniciaba sus actividades, la OPS estableció la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE).

En 1980 la REDPANAIRE desapareció como tal y pasó a formar parte del Programa Global de Monitoreo de la Calidad del Aire, iniciado en 1976 por la OMS y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como parte de un sistema global de monitoreo ambiental llamado GEMS por sus siglas en inglés – Global Environmental Monitoring System.

Durante la década de los noventa, la OMS organizó el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire (AMIS por sus siglas en inglés) que tiene presencia en el nivel mundial. AMIS brinda la información global requerida para el manejo racional de la calidad del aire que incluye el monitoreo de la concentración de contaminantes del aire, desarrollo de instrumentos para elaborar inventarios de emisiones y modelos de calidad del aire, estimación de los efectos sobre la salud pública a través de estudios epidemiológicos y la propuesta de planes de acción detallados para mejorar la calidad del aire.

En años recientes, en respuesta a las recomendaciones de la Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada

en 1992 y los compromisos asumidos en la Cumbre de las Américas de 1994, la OPS junto con los esfuerzos de otros organismos multilaterales y bilaterales, ha promovido, coordinado y apoyado varias actividades relacionadas con la mejora de la calidad del aire, como por ejemplo, la eliminación del plomo en la gasolina.

A pesar de los grandes esfuerzos llevados a cabo para controlar la contaminación del aire, ésta sigue siendo un importante motivo de preocupación ambiental en el mundo.

Escalas de contaminación

Los problemas de contaminación del aire pueden presentarse en tres escalas: micro, media y macro. Los problemas en *microescala* van de los que abarcan menos de un centímetro hasta los del tamaño de una casa o un edificio. Los problemas de contaminación del aire en *escala media* son los que ocupan desde unas cuantas hectáreas hasta el tamaño de una ciudad o un municipio. Los problemas en *macroescala* se extienden a través de municipios, estados, países y, en el sentido más amplio, al globo terráqueo.

La contaminación del aire en interiores se debe a los productos empleados en los materiales de construcción, lo inadecuado de la ventilación en general y a factores geofísicos que originen la exposición a materiales radiactivos naturales. Las fuentes industriales y móviles contribuyen a la contaminación atmosférica en *media escala*, ya que ensucian el aire circundante a la intemperie. Entre los efectos a *macroescala*, o globales, están por ejemplo: la lluvia ácida y la contaminación por ozono. Los efectos globales de la contaminación del aire se deben a fuentes que tienen el potencial de cambiar la atmósfera superior, a saber: el agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global.

Composición del aire

¿Qué es aire limpio?

La atmósfera es sencillamente una mezcla de gases y partículas diminutas que rodean el planeta. Con toda probabilidad, la composición de esta mezcla ha cambiado en diversas etapas de la historia. A continuación se resumen las características de la mezcla actual, aquella con la que el hombre se siente fisiológicamente cómodo.

Nitrógeno (N ₂)	78,1%
Oxígeno (O ₂)	21%
Argón (Ar)	0,9%
Dióxido de carbono (CO ₂)	330 ppmv*
Neón (Ne)	18 ppmv
Helio (He)	5 ppmv
Metano (CH ₄)	1,5 ppmv
Otros en concentraciones menores que 1,0 ppmv	

*partes por millon en volumen

NOTA: los porcentajes indicados corresponden a los componentes principales del aire seco al nivel del suelo. Normalmente, la atmósfera contiene también cantidades variables de agua (H₂O) en gotitas de distintos tamaños y estados.

Si se juntan todos esos componentes en las cantidades indicadas, se obtendrá una atmósfera no adulterada, idónea para respirar. Sin embargo, eso no es del todo cierto: pocos lugares de la Tierra (si existe alguno) tienen ese aire puro, saludable.

Por lo general, el aire contiene aditivos o contaminantes. Algunos lugares con un aire relativamente limpio presentan pocos contaminantes, pero hoy en día son cada vez más los que presentan docenas de contaminantes mezclados en el aire.

Algunos contaminantes del aire pueden ser de origen natural. Los rayos pueden causar incendios que contaminan el aire con partículas y gases diversos. Asimismo, los volcanes pueden enviar toneladas de contaminantes gaseosos y particulados a la atmósfera. Incluso un viento aparentemente benigno puede levantar partículas de las superficies de la tierra y el mar y transformarlas en contaminantes.

Algunos contaminantes atmosféricos provienen de fuentes naturales, pero la preocupación principal para la toxicología de la contaminación del aire reside en los contaminantes producidos por el hombre.

A pesar de que los contaminantes provenientes de estas fuentes naturales pueden influir negativamente en la salud, nos ocuparemos fundamentalmente de los contaminantes del aire antropogénicos (esto es, los generados por actividades humanas). Uno de los resultados más visibles de la acción del hombre sobre el planeta reside en que con el transcurso de los años la atmósfera ha acumulado no solo mayor cantidad de sustancias tóxicas sino también mayor variedad.

Las principales causas de la contaminación del aire son:

- Emisiones del transporte urbano (CO, CnHn, NO, SO₂, Pb).
- Emisiones industriales gaseosas (CO, CO₂, NO, SO_x).
- Emisiones Industriales en polvo (cementos, yeso, etc).
- Basurales (metano, malos olores).
- Quema de basura (CO₂ y gases tóxicos).
- Incendios forestales (CO₂) .
- Fumigaciones aéreas (líquidos tóxicos en suspensión).
- Derrames de petróleo (Hidrocarburos gaseosos).
- Corrientes del aire y relación presión/temperatura.

La atmósfera

La atmósfera es la cubierta protectora del planeta, actúa como un regulador térmico, además de traer lluvia de los océanos, calor de los desiertos, trópicos y ecuador y frío de los polos. Gracias a ella hay cielos brillantes y puestas de sol multicolores.

Nuestra atmósfera tiene casi la misma edad que el Planeta y ha ido alterándose gradualmente, con el paso de millones de años. La atmósfera tiene una estructura bien determinada, clara y organizada, en la que se distinguen cinco capas:

- La troposfera, tiene 15 km de altura, en esta capa es donde se llevan a cabo los fenómenos meteorológicos. A pesar de que es delgada contiene el 80% de aire. La temperatura desciende a medida que ascendemos con la altura.
- La estratosfera, va del kilómetro 15 al 50. En ella el aire es cada vez más escaso. La principal importancia de esta región es que en ella se encuentra la capa superior de ozono a 20 kilómetros de altura de la superficie terrestre; funcionando como filtro para evitar que lleguen hasta nosotros los rayos ultravioleta provenientes del Sol, y que estos nos dañen. La capa de ozono tiene un grosor de 20 kilómetros.
- La mesosfera se extiende del kilómetro 50 al 80. Aquí el aire es menos denso y más frío.
- La termosfera se extiende desde el kilómetro 80 al 400.
- La ionosfera se encuentra a 500 kilómetros de distancia con respecto a la Tierra.

La contaminación atmosférica es la alteración de la composición de la atmósfera en valores que pueden ser causa de agresión a los seres humanos (la simple presencia de un químico cualquiera no es contaminación). La atmósfera de una ciudad se contamina al introducir en ella sustancias distintas de las que la forman o al modificar las cantidades (porcentaje) en que se hallan sus componentes.

La actividad contaminante introduce ciertos desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo) lo que puede llegar a provocar reacciones de consecuencias impredecibles para la Biosfera y, por tanto, para el conjunto de nuestro Planeta, amenazando un desarrollo sostenible que pueda garantizar la pervivencia, en condiciones adecuadas, a las generaciones futuras. Las emisiones a la atmósfera tienen lugar en forma de gases, vapores, polvos y aerosoles así como de diversas formas de energía (contaminación térmica, radiactiva, fotoquímica, etc), quedando los contaminantes suspendidos en ella y produciendo la degradación del medio ambiente en su conjunto.

La atmósfera contaminada: ¿cómo así sucedió esto?

Aunque no existen pruebas contundentes, se supone que la primera vez que el hombre contaminó el aire fue cuando descubrió el fuego. Sin embargo, en esa época, la contribución del hombre a la contaminación del aire probablemente era menor que la provocada por fuentes naturales.

El siguiente avance que tuvo serias consecuencias para la contaminación del aire fue el establecimiento de numerosas comunidades permanentes. En un inicio, el hombre vivía en grupos nómadas relativamente pequeños. Frecuentemente, esos grupos vivían en un lugar solo por un tiempo y el daño ambiental que causaban era mínimo. Eso comenzó a cambiar con la formación de comunidades agrarias permanentes. En el estudio de la contaminación del aire, se observan dos consecuencias notables de la sedentarización del hombre: un impacto ambiental mayor y más intenso y el agotamiento de combustible para generar fuego en ciertas localidades.

En Europa, durante los siglos XII y XIII, la obtención de madera para el combustible se tornó tan difícil que fue necesario un combustible alternativo, y el carbón fue la solución. Parecía un don del cielo porque existía en abundancia y era de lenta combustión. El oscuro humo denso que produce se consideró simplemente como una desventaja menor. Sin embargo, cuando el carbón se convirtió en un combustible común para la generación de calor y energía, la contaminación del aire aumentó en forma explosiva.

A mediados del siglo XVIII, comenzó la Revolución Industrial y el movimiento se expandió rápidamente por todo el mundo. Las distintas industrias emergentes requerían energía, lo que significaba combustión de carbón. Además de la contaminación producida por esta causa, muchas industrias incluyeron procesos químicos que generaron sus propios contaminantes tóxicos. La industria metalúrgica comenzó a prosperar y desplazó rápidamente al carbón como la fuente principal de dióxido de azufre en la atmósfera.

Durante el siglo XIX y a principios del XX, el carbón era la fuente principal de calor, energía y contaminación en el mundo. Sin embargo, empezó a tener competencia en 1859 cuando se inició la industria del petróleo, de rápidos beneficios comerciales, con la perforación del primer pozo moderno, en Pensilvania, EEUU. La refinación de petróleo y la industria automovilística experimentaron un extraordinario crecimiento en el siglo XX, junto con sus diversas industrias derivadas, como el acero, la fabricación de caucho y la industria petroquímica.

La Segunda Guerra Mundial y sus consecuencias aumentaron y aceleraron la arremetida del hombre en la atmósfera, prácticamente inadvertida. La proliferación de la industria petroquímica y el desarrollo de la industria nuclear abrieron el camino. Sin embargo, el transporte, con sus quemados de combustibles fósiles, permanece hasta hoy como la causa principal de contaminación. Esta industria es directamente responsable de casi 60% de toda la contaminación atmosférica.

Contaminación del aire en el siglo XX: episodios y accidentes

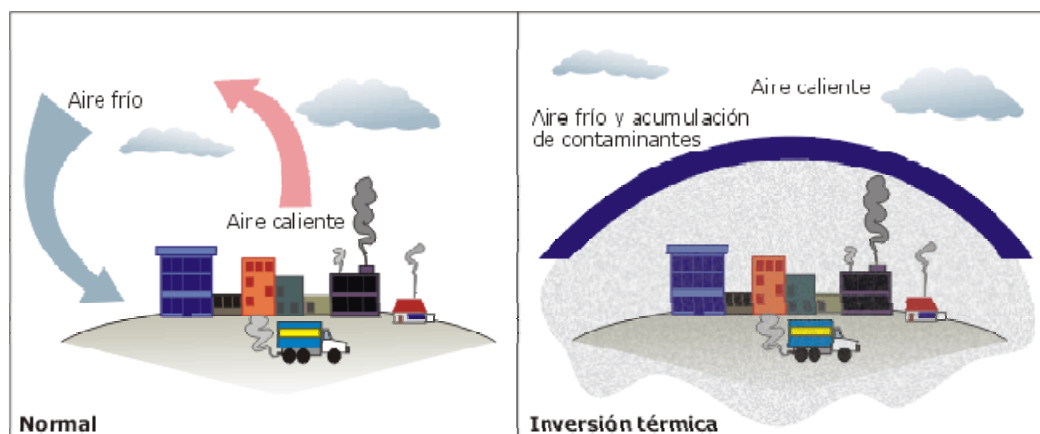
La diferencia entre un episodio y un accidente de contaminación del aire es fundamental. Un episodio ocurre cuando los contaminantes del aire “inocuos” diarios, propios del siglo XX, se combinan con otros factores, como las anomalías meteorológicas y la topografía, para crear una atmósfera amenazante para la salud. A pesar de que el hombre es el responsable del factor contaminación, la co-ocurrencia de los otros factores es incontrolable. En contraste, un accidente de contaminación del aire es una descarga inadvertida y evitable de sustancias químicas tóxicas, atribuible a fallas mecánicas o al error humano.

Episodios: Los tres episodios de contaminación del aire más famosos de este siglo sucedieron en Valle del Mosa, Bélgica; Donora, Pensilvania; y Londres, Inglaterra.

Episodio	Año	Exceso de mortalidad	Causas propuestas
Valle del Mosa – Bélgica	Octubre 1930	60+	SO ₂ , fluoruros, H ₂ SO ₄
Donora - Pennsylvania	Octubre 1948	20	SO ₂ , material particulado
Londres – Reino Unido	Diciembre 1952	4.000+	SO ₂ , material particulado, H ₂ SO ₄

Las tres tragedias coincidieron con una condición meteorológica conocida como inversión térmica. Normalmente, el aire caliente de la superficie terrestre asciende y el aire de la parte superior de la atmósfera —más frío— cae, con lo cual se crea una circulación natural que dispersa los contaminantes superficiales del aire. Una inversión ocurre cuando las capas de aire de la atmósfera inferior son más frías que las superiores. La circulación natural sufre una interrupción y tanto el aire superficial acumulado como los contaminantes del aire se concentran alrededor de sus fuentes.

Circulación atmosférica natural comparada con una inversión térmica



Durante una inversión térmica se interrumpen los patrones normales de circulación de la atmósfera natural.

Otra característica importante, común a estos tres episodios, es que los presuntos agentes causales eran productos de desecho típicos de la vida del siglo XX y supuestamente seguros. La quema generalizada de combustibles fósiles y la

proliferación de procesos industriales producen dióxido de azufre, ácido sulfúrico, material particulado, fluoruros y otros contaminantes del aire, componentes bastante comunes de la actual mezcla atmosférica.

El episodio de Londres, el más catastrófico de los tres, debido principalmente a que ocurrió en un área densamente poblada, incentivó acciones preventivas en el plano político y científico.

Actualmente, la mayoría de ciudades principales ha implementado programas para predecir y detectar los niveles de contaminación y condiciones meteorológicas que podrían combinarse para ocasionar consecuencias trágicas. A pesar de esos programas preventivos, en 1966, una inversión térmica de cuatro días en Nueva York provocó 168 muertes e innumerables enfermedades. El hombre ha aprendido —aunque lentamente— que no existe contaminante del aire que sea inocuo.

Accidentes: La industrialización también ha generado un mayor riesgo de descargas accidentales de contaminantes tóxicos. Las causas más comunes de los accidentes de contaminación industrial del aire son las fallas mecánicas y los errores humanos.

Uno de los primeros accidentes de contaminación del aire con causa definida y adecuadamente documentada sucedió en 1950 en Poza Rica, México. El problema comenzó cuando una refinería de gas natural descargó inadvertidamente sulfuro de hidrógeno en el aire. Una inversión térmica simultánea agravó el problema. Resultados: 22 muertes y más de 300 casos de enfermedades relacionadas, sobre todo irritación de las vías respiratorias y trastornos del sistema nervioso.

Quizá el ejemplo más ilustrativo de cómo la descarga accidental de una sustancia química tóxica puede perjudicar a gran parte de la población es el incidente producido en Bhopal, India, en 1984. Treinta toneladas de isocianato de metilo escaparon a través de una válvula rota y cubrieron una comunidad adyacente a una planta químico-industrial. Más de 2.500 muertes se atribuyeron a este caso y 17.000 personas quedaron permanentemente discapacitadas.

En 1986, la ciudad soviética de Chernobil fue sinónimo de desastre industrial. A pesar de que no era el primer accidente que involucraba a una central nuclear, este fue (y aún sigue siendo) el peor de todos. La explosión fue la culminación de una serie de acontecimientos, atribuibles al mal funcionamiento mecánico y al error humano. Las consecuencias fueron muy graves. Murieron treinta trabajadores por exposición radiactiva en los primeros meses y otros 200 trabajadores y bomberos fueron hospitalizados con serios daños provocados por la radiación. Millones de personas en la antigua Unión Soviética y Europa del Este estuvieron expuestas a la lluvia radiactiva y, por lo tanto, tienen mayores probabilidades de morir de cáncer que las que tenían antes del desastre. Otras fueron afectadas por medio de los alimentos provenientes tanto de plantas como de animales que estuvieron expuestos a la radiación. Además, debido a que la radiación es mutagénica (es decir, capaz de alterar el material genético), los efectos adversos del accidente de Chernobil probablemente afectarán también a las próximas generaciones.

Efectos adversos en la salud relacionados con la contaminación del aire

Los episodios y accidentes de contaminación del aire que acabamos de tratar, especialmente el episodio ocurrido en Londres en 1952, incrementaron la inquietud acerca de las consecuencias que supone para la salud la exposición crónica a concentraciones atmosféricas estándar de contaminantes. A fines de los años cincuenta numerosos estudios comenzaron a documentar la relación existente entre la contaminación general del aire y ciertas enfermedades crónicas. Hoy en día,

existe un consenso general que afirma que las concentraciones ambientales de los contaminantes del aire pueden causar o incentivar el desarrollo de bronquitis crónica y cáncer pulmonar. Se plantea que existe una relación similar con el enfisema pulmonar.

Bronquitis (inflamación de los bronquios): Las evidencias de las vinculaciones entre contaminación del aire y la bronquitis crónica están bien establecidas. En la bronquitis crónica, la inflamación característica va acompañada de la producción excesiva de mucosidad y una tos persistente. Los principales responsables del aire ambiental parecen ser el SO₂ (dióxido de azufre) y el material particulado.

El **enfisema pulmonar** se caracteriza por la distensión excesiva y la destrucción de los alvéolos (diminutas bolsas de aire ubicadas en el pulmón donde se realiza el intercambio de gas). La incidencia de esta enfermedad progresiva, aunque no relacionada de manera concluyente con los contaminantes del aire, está aumentando especialmente en las zonas urbanas altamente contaminadas.

Otras dolencias menores provenientes de dicha exposición están en aumento en las áreas con niveles altos de contaminación ambiental. Estas incluyen el resfriado común, la irritación óptica y nasofaríngea, los ataques de asma y las dificultades respiratorias generales.

Las evidencias que relacionan el cáncer pulmonar con la contaminación del aire son sobre todo indiciarias, basadas en cientos de estudios que revelan una incidencia mayor de dicha enfermedad en las zonas urbanas que en las rurales. A pesar de ello, estas evidencias son tan generalizadas y uniformes que normalmente se aceptan como pruebas de una relación causa-efecto. Existe menor consenso en cuanto a la mortalidad que se puede atribuir a la exposición de contaminantes del aire. Los cálculos del porcentaje de muertes para las cuales la contaminación del aire es un importante factor van desde 0,1 por ciento (1 en 1.000) hasta 10 por ciento (1 en 10).

Contaminantes del aire

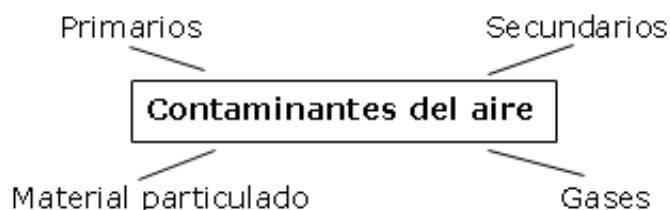
La atmósfera está constituida por varias capas de aire. Las de mayor importancia para el estudio del control de la contaminación del aire son la **troposfera** y **estratosfera**. La troposfera es la capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra. La troposfera contiene el aire que todos los seres vivos necesitan para respirar. La estratosfera es la capa protectora de aire que ayuda a absorber y dispersar la energía solar.

En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación. Los fenómenos naturales tales como la erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales e incluso los aerosoles emitidos por los océanos "contaminan" el aire. Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquéllos generados por la actividad del hombre (antropogénicos). Se puede considerar como **contaminante** a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente. Estos efectos pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas.

Hay cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas y gases. El **material particulado** está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volante. Los **gases** incluyen sustancias como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles.

También se puede clasificar a los contaminantes como **primarios** o **secundarios**. Un *contaminante primario* es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como por ejemplo, la ceniza de la quema

de residuos sólidos. Un *contaminante secundario* es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles. Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono, componente primario del *smog fotoquímico*.



Los contaminantes de aire también se han clasificado como **contaminantes criterio** y **contaminantes no criterio**. Los contaminantes "criterio" se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. En el nivel internacional los contaminantes criterio son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de azufre (SO_x)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Plomo(Pb)
- Material particulado

En los últimos años, varios países al definir a las partículas totales en suspensión han especificado a las partículas con 10 micrómetros o menos de diámetro y a las partículas con 2,5 micrómetros o menos de diámetro aerodinámico. Estas partículas son comúnmente referidas como PM₁₀ y PM_{2,5}, respectivamente. La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar la zona inferior de los pulmones (los alveolos pulmonares).

Inicialmente, en la lista de contaminantes criterio se incluía a los **hidrocarburos**, también denominados "Compuestos Orgánicos Volátiles"(COV), que son precursores en la formación de ozono. Aunque en general hay reglamentos que controlan los COV, no hay control específico para los COV en el aire. El control adecuado de los COV se refleja en la reducción de la concentración de ozono en el aire.

Contaminantes criterio

Monóxido de carbono (CO): El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que **en concentraciones altas puede ser letal**. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano, que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina.

Para que se complete el proceso de combustión es necesario que haya una cantidad adecuada de oxígeno. Cuando éste es insuficiente, se forma el monóxido de carbono y una manera de reducirlo es exigir que los automóviles sean afinados debidamente para asegurar la mezcla del combustible con el oxígeno. Por esta razón, los reglamentos de inspección de automóviles han sido útiles para controlar el monóxido de carbono.

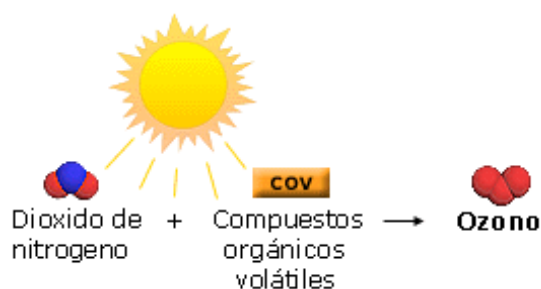
El CO es especialmente problemático en zonas urbanas con gran número de automóviles. El volumen del tránsito y el clima local influyen sobre su concentración en el aire. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición. El monóxido de carbono en los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. Normalmente, los glóbulos rojos transportan el oxígeno por todo el cuerpo. Cuando hay monóxido de carbono, éste atrae más a los glóbulos rojos que al oxígeno, lo que da lugar a la escasez de oxígeno en la sangre. El efecto a corto plazo es similar a la sensación de fatiga que se experimenta en altura o cuando se padece de anemia.

La exposición al monóxido de carbono puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón. El peligro es más evidente en neonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren de enfermedades crónicas.

Efectos en la salud humana por exposición a monóxido de carbono

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

Ozono (O₃): El ozono es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante una serie compleja de reacciones en la atmósfera. En términos sencillos, se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.



La concentración de ozono en una determinada localidad depende de muchos factores, incluida la concentración de NO₂ y COV en el área, la intensidad de la luz solar y las condiciones del clima.

El ozono es el principal componente del **smog fotoquímico** o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en seres humanos y plantas. La población de mayor riesgo a la contaminación por ozono son los enfermos y ancianos, así como los neonatos y nonatos. Además, cuando se lo compara con otros contaminantes criterio, es el que más daña a las plantas.

Una estrategia de control para el ozono es reglamentar las fuentes de COV y óxidos de nitrógeno. Las fuentes principales de estos contaminantes son los productos de combustión incompleta que emiten los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles y el uso de compuestos de petróleo y solventes orgánicos en procesos industriales y de limpieza. Por ejemplo, el líquido usado en el proceso de lavado al seco es un solvente, que es un COV

El ozono tiene la singularidad de que es también beneficioso para los seres humanos y otros seres vivos. Es un componente necesario de la estratosfera, la capa del aire que protege la troposfera, porque sirve para proteger a la tierra de la nociva radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, cuando se encuentra en concentraciones altas en la troposfera o capa inferior de la atmósfera, se le considera un contaminante.

De esta manera, aunque **el ozono es nocivo y debe ser controlado en la troposfera, es un protector necesario en la estratosfera**. Las iniciativas de control de la contaminación del aire como la reducción progresiva de halocarburos y clorofluorocarbonos, evitan el agotamiento del ozono en la estratosfera.

¿Qué es el smog?: La palabra *smog* o *esmog* la inventaron los londinenses, antes de la Primera Guerra Mundial, para describir la combinación de humo (*smoke*) y niebla (*fog*) presentes en gran parte de su clima. El smog es una mezcla de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehidos y gran cantidad de sustancias orgánicas. Existen 2 clases de smog: el tipo Londres, formado cuando los contaminantes se acumulan en una masa de aire fresco, húmedo y estancado, característico del tiempo invernal; y el tipo "Los Angeles" o smog fotoquímico, que se forma principalmente por la descomposición fotoquímica del NO_2 . La mayoría de los átomos de O reaccionan con moléculas de O_2 dando O_3 , el que junto a los átomos de O, y las moléculas de NO reaccionan con los compuestos orgánicos de la atmósfera, produciendo el smog.

Óxidos de azufre (SOX): Los óxidos de azufre son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO_2) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón. Se ha denominado al dióxido de azufre como un contaminante que "pasa a través de" porque la cantidad de dióxido de azufre emitido al aire es casi la misma cantidad presente en el combustible. Por ejemplo, si se quema cien kilos de carbón que contienen siete kilos de azufre, la emisión producida por la quema contendrá aproximadamente 14 kilos de dióxido de azufre, siete kilos de azufre y siete de oxígeno. El azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión para formar dióxido de azufre.

Los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente en las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia.

Los óxidos de azufre también contribuyen a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.

Material particulado: Inicialmente, con la denominación de partículas totales en suspensión (PTS) se reconoció a una amplia categoría de material particulado como contaminante criterio. Las PTS son las partículas sólidas o líquidas del aire. Se incluyen contaminantes primarios como el polvo y hollín y contaminantes secundarios como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. Como se mencionó anteriormente, desde la segunda mitad de la década de 1980, varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM10). En la segunda mitad de la década de 1990, las normas sobre material particulado especificaron considerar no solo al PM10 sino también al material particulado con menos de 2,5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM 2,5). El motivo de este cambio, es que las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones.

En la naturaleza, el material particulado se forma por muchos factores, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas son la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción.

El material particulado puede tener efectos en la salud y bienestar del hombre. Puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares. Asimismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre.

Óxidos de nitrógeno (NOx): Los óxidos de nitrógeno (comúnmente referidos como NOx) son un grupo de gases conformados por el nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común del aire y representa 78 por ciento del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NOx se refiere a la combinación de estas dos sustancias.

Los procesos naturales y los realizados por el hombre producen óxidos de nitrógeno. En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud y bienestar. En el proceso de combustión, el nitrógeno se oxida para formar óxido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los óxidos nítricos emitidos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar. El dióxido de nitrógeno daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Asimismo, contribuye a la formación de lluvia ácida.

Plomo (Pb): El plomo es una sustancia natural que abunda en el ambiente. Debido a sus propiedades físicas que le permiten formarse y moldearse fácilmente, se emplea en muchas aplicaciones. El plomo se usaba frecuentemente para fabricar tuberías de agua y recipientes para alimentos. También ha sido un ingrediente importante en la fabricación de pinturas y gasolina.

La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en automóviles. Como un aditivo en la gasolina, el plomo desacelera el proceso de combustión en los motores. Debido a que el plomo no se

consume en el proceso de combustión, se emite como material particulado. Uno de los más grandes éxitos ambientales de los dos últimos decenios ha sido la reducción de plomo en el aire gracias al mayor uso de la gasolina sin plomo y a la reducción del contenido de plomo en combustibles con plomo.

El plomo es un contaminante importante del aire porque es tóxico para los humanos. Su difícil remoción del cuerpo hace que se acumule en varios órganos y puede dañar el sistema nervioso central. Un gran número de estudios científicos ha documentado los efectos nocivos de la exposición al plomo.

Contaminantes peligrosos del aire (CPA)

Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud. Las enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA), incluidos el tetracloruro de carbono, cloro, óxido de etileno, cadmio y manganeso. La mayoría de los CPA son compuestos orgánicos volátiles.

Las normas para controlar la emisión de estos contaminantes peligrosos están basadas en la salud. En otras palabras, se establecen límites numéricos que protegen la salud del hombre de cualquier efecto adverso. Sin embarco, el establecimiento de normas de emisión basadas en la salud es un proceso difícil debido a la incertidumbre en la evaluación de los efectos sobre la salud. Como resultado, Estados Unidos ha fijado normas de emisión basadas en la salud solo para **ocho contaminantes: asbesto, cloruro de vinilo, benceno, arsénico, berilio, mercurio, radón y radionucleidos diferentes del radón.**

Contaminación del aire en interiores

Los efectos de la contaminación del aire en interiores han recibido mayor atención en los últimos años porque es allí donde las personas pasan casi 90 por ciento de su tiempo. Diversos estudios han indicado que la exposición a algunos contaminantes puede ser dos a cinco veces mayor en interiores que al aire libre. Hay muchos tipos de contaminantes de interiores, tales como el humo de los artefactos, chimeneas y cigarrillos; contaminantes orgánicos de las pinturas, colorantes, limpiadores y materiales de construcción; y el radón.



La exposición a algunos contaminantes puede ser dos a cinco veces mayor en interiores que al aire libre.

El radón es un gas que se presenta de forma natural, no tiene olor ni color y es radiactivo. Sus efectos sobre la salud humana son importantes porque es el segundo factor, después del cigarrillo, que produce cáncer al pulmón. Afortunadamente, los niveles de radón se pueden reducir con la circulación del aire y ventilación adecuadas.

El monóxido de carbono que emiten las estufas con mala combustión ha sido un problema grave desde hace mucho tiempo. En muchos casos han muerto personas por el mal funcionamiento de estufas. Las estufas, los hornos y pilotos de gas, los calefactores de gas y petróleo y el humo de cigarrillos contribuyen a formar concentraciones crónicas de contaminación por CO. Se han encontrado también concentraciones de NO₂ que van de 70 a 182 microgramos por metro cúbico. Se

advirtió además que las concentraciones de partículas suspendidas respirables aumentan cuando hay un fumador y suben en forma significativa cuando hay dos o más.

Las bacterias, los virus, los hongos, los insectos y el polen se denominan, en conjunto, *bioaerosoles* (partículas aerotransportables de origen biológico); requieren un reservorio (para su almacenamiento), un amplificador (para reproducirse) y un medio de dispersión. La mayor parte de las bacterias y virus en el aire interior provienen de personas y mascotas. Otros microorganismos y polen se introducen desde el aire ambiental ya sea por ventilación natural o por las tomas de los sistemas de manejo de aire en los edificios. Los humectadores, sistemas de acondicionamiento de aire y otros lugares donde se acumula agua son reservorios potenciales de bioaerosoles.

En el aire de interiores se han identificado más de 300 compuestos orgánicos volátiles (COV) como por ejemplo los aldehídos, alcanos, alquenos, cetonas e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP). Aunque no todos están presentes siempre, con frecuencia si hay varios de ellos en forma simultánea.

El formaldehído (CH₂O) se ha identificado como uno de los más ubicuos y tóxicos. Lo emite una diversidad de productos de consumo y materiales de construcción, como los fabricados con madera prensada, textiles, fuentes de combustión y materiales aislantes (el principal sospechoso es la espuma de urea-formaldehído).

Contaminantes de interiores y principales fuentes

Contaminante	Principales fuentes
COMPUESTOS QUIMICOS	
NOx	Estufas a parafina, cocinas a gas, etc.
CO	HTA, combustibles de calefacción y cocina, infiltración de exteriores
SO2	Estufas a parafina, calefactores a leña o gas, etc.
O3	Fotocopiadoras, impresoras laser, ozonizadores, infiltración de exteriores, etc.
COV5	Materiales de construcción (pegamentos, paneles, aislantes, etc.), HTA, hornos a gas, sistemas de aire acondicionado, infiltración de exteriores, estufas a parafina, productos de limpieza, etc.
Fibras	Materiales de construcción, etc.
Hidrocarburos aromaticos policiclicos	Combustibles de calefacción y cocina, HTA, infiltración de exteriores, etc.
Metales	Pinturas (Pb), baterías (Pb, Cd), PVC (Cd), aparatos eléctricos (Hg), polvo exterior, etc.
Pesticidas	Uso de termicidas, insecticidas, fungicidas
Material particulado	Combustión en interiores, HTA, infiltración de exteriores, etc.
Humo de tabaco ambiental	Combustión de tabaco
AGENTES FISICOS	
Radiaciones	Artefactos eléctricos
Calor	Sistemas de combustión y artefactos eléctricos
AGENTES BIOLOGICOS	
Bacterias Virus Hongos	Sistemas de aire acondicionado, mascotas, plantas de interiores, aguas estancadas, etc.

El humo del cigarrillo y la contaminación

El humo del cigarrillo contiene cerca de 4.000 agentes químicos, incluyendo 60 sustancias que se sabe causan cáncer (carcinógenos) en los humanos. Además, muchas de estas sustancias, como el monóxido de carbono, el alquitrán, arsénico y plomo, son venenosas y tóxicas para el cuerpo humano. La nicotina es una droga que está presente naturalmente en la planta de tabaco y es responsable principalmente de la adicción de una persona a los productos de tabaco, incluyendo los cigarrillos. Al fumar, la nicotina se absorbe rápidamente en el torrente sanguíneo y viaja hasta el cerebro en cuestión de segundos. La nicotina causa una adicción a los cigarrillos y a otros productos de tabaco que es semejante a la adicción producida por el uso de heroína y de cocaína.

Fumar cigarrillos causa un 87 por ciento de muertes por cáncer de pulmón. El cáncer de pulmón es la causa principal de muerte por cáncer tanto en hombres como en mujeres (*Datos 2003 Sociedad Americana de Cáncer*). Fumar es responsable también de la mayoría de los cánceres de laringe, de boca, esófago y de vejiga. Además, tiene una relación muy estrecha con el desarrollo y muerte por cáncer de riñón, de páncreas y de cuello uterino.

Los riesgos para la salud causados por fumar cigarrillos no se limitan a los fumadores. Al exponerse al humo de segunda mano o humo de tabaco en el ambiente (ETS, en inglés), el riesgo de la persona que no fuma de padecer cáncer de pulmón aumenta considerablemente. (El humo de segunda mano es una combinación del humo que despiden la punta del cigarrillo al quemarse y del humo que los fumadores despiden de los pulmones). Según los Centros para la Prevención y el Control de Enfermedades (CDC), la exposición al humo de segunda mano causa cerca de 3.000 muertes por cáncer de pulmón entre quienes no fuman y se calcula que es responsable de infecciones del tracto respiratorio inferior en 300.000 niños cada año. La Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) dio a conocer en diciembre de 1992 un informe de evaluación de riesgos en el cual el humo del tabaco en el ambiente fue clasificado como carcinógeno del Grupo A; es decir, carcinógeno comprobado para el hombre, una categoría reservada solo para los agentes más peligrosos que causan cáncer.

La contaminación de los coches es más perjudicial". Ésta es una frase a la que suelen recurrir algunos fumadores cuando se les recrimina su papel como agentes contaminantes. Sin embargo, un nuevo estudio demuestra que, en comparación con el humo de algunos motores, el de los cigarrillos puede contaminar más.

El efecto de invernadero

Se denomina **efecto invernadero** al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

La vida en la Tierra es posible gracias a la energía emanada del Sol, que llega sobre todo en forma de luz visible. Aproximadamente el 30% de la luz solar vuelve a dispersarse en el espacio por la acción de la atmósfera exterior, pero el resto llega a la superficie terrestre, que la refleja en forma de energía más tranquila y de movimiento más lento: son los rayos infrarrojos (es el tipo de calor emitido por un horno eléctrico antes de que las barras comiencen a ponerse rojas). La radiación infrarroja es transmitida lentamente por las corrientes de aire, y su liberación final en el espacio se ve frenada por los **gases de efecto invernadero**

Los principales gases de efecto invernadero son: **el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono, el metano, el óxido nitroso, y los halocarbonos y otros gases industriales.** Con excepción de los gases industriales, todos estos gases se producen naturalmente. En conjunto representan menos del 1% de la atmósfera. Ello es suficiente para producir un **“efecto de invernadero natural”** que mantiene al planeta a una temperatura promedio de aproximadamente 15 grados, lo que es esencial para la vida que conocemos en la Tierra. Estos gases impiden que parte del calor solar regrese al espacio, y sin ellos el mundo sería un lugar frío y yermo: la temperatura de la superficie de la tierra rondaría los 18 grados bajo cero.

Cuando el volumen de estos gases es considerablemente mayor porque crece en forma desmedida, provoca temperaturas artificialmente elevadas que modifican el clima. **Los niveles de todos los principales gases de efecto invernadero están aumentando como resultado directo de la actividad humana.** Las emisiones de dióxido de carbono (principalmente de la combustión de carbón, petróleo y gas natural) el metano, y el óxido nitroso (debido principalmente a la agricultura y a los cambios en el uso de la tierra), el ozono y los gases industriales de vida prolongada tales como los CFC, los HFC y los PFC están cambiando la manera en que la atmósfera absorbe energía. Los niveles de vapor de agua también pueden estar en aumento debido a una “respuesta positiva”. Todo ello está sucediendo a una velocidad sin precedentes. El resultado es conocido como el **“efecto de invernadero ampliado”**

El sistema climático debe ajustarse al aumento de los niveles de gases invernadero para mantener el “balance de energía” en equilibrio. A largo plazo, la tierra debe deshacerse de la energía la misma velocidad en que recibe energía del Sol. Como una manta más espesa de gases invernadero contribuye a reducir la pérdida de energía al espacio, el clima debe cambiar de alguna manera para reestablecer el equilibrio entre la energía entrante y saliente.

Este ajuste ha de incluir un “calentamiento mundial” de la superficie de la tierra y la capa inferior de la atmósfera. Pero esto sólo es una parte del proceso. El calentamiento es la manera más sencilla para que el clima elimine el excedente de energía. Pero aún un pequeño aumento en la temperatura ha de estar acompañado por muchos otros cambios en la cobertura de nubes y los modelos de vientos, por ejemplo. Algunos de estos cambios pueden ampliar el calentamiento (respuesta positiva) y otros contrarrestarlos (respuesta negativa)

El aumento de los gases efecto invernadero ya está cambiando el clima. La temperatura media de la superficie terrestre ha subido más de 0,6°C desde los últimos años del siglo XX. Este valor es superior en 0,15° C a la previsión que se tenía para el período que iba hasta el año 1994, por las temperaturas relativamente altas desde 1995 hasta 2000.

Los modelos climáticos predicen que la temperatura mundial aumente de nuevo entre 1,4°C y 5,8°C para el período 1990-2100, lo que representa un cambio profundo y preocupante. Aun cuando el aumento real sea el mínimo previsto, será mayor que en cualquier siglo de los últimos 10.000 años.

Según las previsiones, la actual tendencia hacia el calentamiento provocará la extinción de numerosas especies vegetales y animales, debilitadas ya por la contaminación y la pérdida de hábitat. El ser humano, aunque no se ve amenazado de esta manera, se encontrará probablemente con dificultades cada vez mayores.

Un clima más caluroso causará más muertes y enfermedades entre las personas de edad y pobres de las zonas urbanas. Al aumentar las sequías en los veranos, el ganado y la vida silvestre estarán sujetos a mayor tensión térmica, mayor daño en los cultivos, aumentarán incendios forestales, las reservas de agua se verán

sometidas a mayor presión. Otra consecuencia importante radicará en el aumento de la demanda energética.

Los graves episodios de grandes tormentas, inundaciones y sequías, por ejemplo, parecen demostrar que los modelos informáticos que predicen "episodios climáticos extremos" más frecuentes están en lo cierto.

El nivel del mar subió por término medio entre 10 y 20 centímetros durante el siglo XX, y para el año 2100 se prevé una subida adicional de 9 a 88 cm (la subida de las temperaturas hace que el volumen del océano se expanda, y la fusión de los glaciares y casquetes polares aumenta el volumen de agua). Si se llega al extremo superior de esa escala, el mar podría invadir los litorales fuertemente poblados, provocar la desaparición total de algunas naciones (como el Estado insular de las Maldivas), contaminar las reservas de agua dulce de miles de millones de personas y provocar migraciones en masa.

2 - Energía Eólica

Introducción

Entre las denominadas energías renovables, la energía eólica es una de las más utilizadas en el transcurso de la historia. Desde hace siglos, el hombre ha sabido aprovechar la energía del viento para desplazarse por el mar, moler maíz o bombear agua. En cambio, hasta el siglo XX, no empieza el aprovechamiento comercial de la energía eólica para la producción de electricidad.



Historia

A través de grabados pertenecientes a civilizaciones muy antiguas, se ha podido comprobar que el aprovechamiento del viento con fines energéticos se remonta a por lo menos 3.000 años antes de la era cristiana, habiendo sido utilizado en aquellos tiempos principalmente para la navegación. Diferentes pueblos, desde los egipcios pasando por los Fenicios, Romanos y muchos otros utilizaron esta forma de impulsión.

Los datos más antiguos de artefactos que aprovechaban el viento para otro tipo de actividades (por ejemplo molienda de granos) aparecen en Persia, alrededor de los años 200 antes de Cristo. Se cree que en siglo XIII esas máquinas fueron introducidas en Europa por quienes retornaban de las cruzadas.

Durante el transcurso de la Edad Media se amplió la gama de usos empleándose las para mover la maquinarias de nacierentes industrias como la textil, maderera, metalúrgica.

Estos primeros molinos eran muy rudimentarios, basando su diseño en la rotación un eje colocado en forma vertical. Los holandeses modificaron esa tecnología y a partir del año 1.350 comenzaron a utilizarse máquinas de eje horizontal y de cuatro

palas, muy similares en aspecto a los que acostumbramos ver hoy en día en los típicos paisajes de ese país. A partir de entonces se los empezó a utilizar principalmente para desecar pantanos y lagos y también aserraderos, para la fabricación de papel y para extraer aceites.

Hasta los equipos que aprovechaban la energía del viento producían únicamente energía mecánica. Eran máquinas lentas, pesadas y de baja eficiencia. A mediados del siglo pasado se desarrolló un molino que se impuso rápidamente en muchos países, llamado comúnmente *molino americano*, y es el que podemos ver en casi todo el interior de nuestro país. Este molino es también un convertidor de energía mecánica, pero con una eficiencia muy superior a la de los anteriores y se destina casi exclusivamente al bombeo del agua.



Las primeras máquinas equipadas con generadores eléctricos, hacen su aparición hacia 1900. Durante la primera mitad del siglo, a pesar de que no hubo una activa utilización de la energía eólica, se produjeron gran variedad de diseños cuyos principios fundamentales son válidos hasta el presente.

La crisis energética de los años 70, que ocasionó un abrupto encarecimiento del petróleo, y por consecuencia de sus derivados, provocó que aquellos países que tenían una importante dependencia de la importación de esos productos para la satisfacción de sus necesidades energéticas, buscaran soluciones alternativas a los grandes desequilibrios económicos que esta situación les creaba.

Esta situación incentivó la realización de nuevos estudios que llevaron a una importante mejora de las tecnologías de aprovechamiento, logrando equipos convertidores de energía eléctrica cada vez más confiables y potentes.

A modo de referencia, se indican las potencias instaladas a fines de 2006 por los principales países productores de energía eólica en el mundo: Alemania 20.622 MW; España 11.630 MW; Estados Unidos 11.603 MW; India 6270 MW; China 2599 MW y Dinamarca 3136 MW. El total mundial alcanzaba a 74.153 MW (Fuente WWEA).

La energía eólica y sus aplicaciones

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica o mecánica.

Se pueden distinguir dos tipos de aplicaciones: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua.

Entre las instalaciones de producción de electricidad se pueden distinguir instalaciones aisladas, no conectadas a la red eléctrica e instalaciones conectadas, normalmente, denominadas parques eólicos. Las instalaciones no conectadas a la red, normalmente cubren aplicaciones de pequeña potencia, principalmente de electrificación rural.

Las aplicaciones conectadas a la red eléctrica, por otra parte, son las que permiten obtener un aprovechamiento energético mayor, son además las que presentan las mejores expectativas de crecimiento de mercado.

Transformación de la Energía Eólica

La energía contenida en el viento puede ser transformada, según sea la necesidad, en energía eléctrica, mecánica o térmica.

Las posibilidades de uso que ofrece la energía eléctrica son bien conocidas. En cuanto a la mecánica, en el caso que nos ocupa, se utiliza el bombeo de agua o molienda de distintos productos. La energía térmica se consigue a partir de la energía mecánica. Para efectuar esa transformación se utilizan distintos tipos de equipamientos.

En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro.

En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 kilómetros por hora (Km./h). Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15m/s (40 a 55 Km./h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25m/s (90km/h).

Las Máquinas Eólicas

Existen dos tipos principales de máquinas que aprovechan la energía contenida en el viento: los molinos, que se utilizan fundamentalmente para bombeo mecánico de agua, y los aerogeneradores de electricidad.

Molinos

Es muy común en el campo su utilización para extraer agua del subsuelo. El equipo utilizado se denomina molino multipala en razón de estar compuesto por un número elevado (12 a 16) de palas. La razón de este sistema radica en que con muy baja velocidad de viento (apenas una brisa) está en condiciones de trabajar. Al girar acciona mecánicamente una bomba que extrae el agua necesaria.

El diseño de este tipo de molino es de origen norteamericano, introducido en Argentina a mediados del siglo pasado y hoy de fabricación nacional. También es muy utilizado en Australia, Sudáfrica, Holanda y Dinamarca.

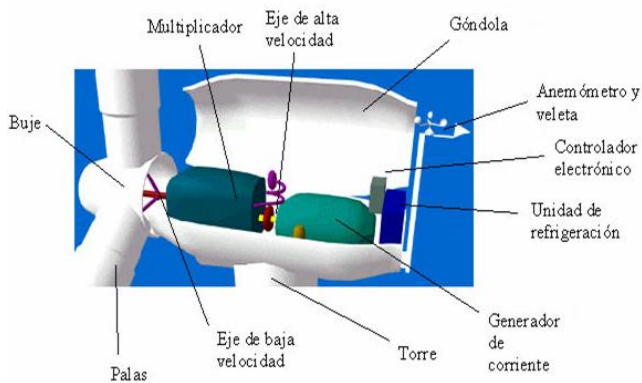
Aerogeneradores

Estos equipos están especialmente diseñados para producir electricidad. En la actualidad se fabrican máquinas comerciales de muy variados tamaños, desde muy bajas potencias (100 a 150 W) y ya están existen modelos que superan los 1.500 Kw. de potencia.



A diferencia de los molinos, estos equipos se caracterizan por tener pocas palas por que de esta manera alcanzan a desarrollar una mayor eficiencia de transformación de la energía primaria contenida en el viento. Si bien existen algunos de una sola pala, los de dos o tres son lo más utilizados.

Sintéticamente un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor compuesto por un eje y la o las palas que es accionado por el viento, y un generador que se mueve por arrastre del rotor.



Los rotores de los aerogeneradores de potencia mediana en adelante (más de 20 Kw.) no desarrollan gran número de evoluciones, considerándose como normal el orden de 60 a 70 revoluciones por minuto. Teniendo en cuenta que los generadores normalmente trabajan a unas 1.500 r.p.m., para adecuar las distintas velocidades de trabajo de estos dos elementos se intercala una caja multiplicadora.

En las máquinas pequeñas el generador suele ser un alternador conectado directamente al eje de rotación.

Componentes de los aerogeneradores

El rotor: Es la parte de la máquina que transforma la energía del viento en energía mecánica. Aumentando el diámetro de las palas, se puede aumentar la superficie de captación de viento y la potencia proporcionada por la máquina. La potencia que suministra el viento por unidad de superficie barrida se conoce como intensidad de potencia del viento.

Multiplicador: El multiplicador es un conjunto de engranajes que transforman la baja velocidad a la que gira el eje del rotor (entre 20 y 30 vueltas por minuto) a una velocidad más elevada, que se comunica al eje que hace girar el generador.

El generador: El objetivo del generador es transformar la energía mecánica procedente del rotor de la máquina en energía eléctrica. Esta energía se volcará a la red eléctrica o será usada por algún centro de consumo anexo a la instalación.

La góndola: La góndola es el conjunto de bastidor y carcasa del aerogenerador. El bastidor es una pieza sobre la que se acoplan los elementos mecánicos principales (el rotor, el multiplicador, el generador) del aerogenerador y que está situada sobre la torre. Este bastidor está protegido por una carcasa, generalmente de fibra de vidrio y poliéster, reforzada con perfiles de acero inoxidable.

Las palas: Son los elementos del aerogenerador encargados de captar la energía cinética del viento. Es uno de los componentes más críticos de la máquina, ya que en palas de gran longitud, que permiten un mejor aprovechamiento de la energía, las altas velocidades que se consiguen en los extremos llevan al límite la resistencia de los materiales con que están fabricados (normalmente, fibra de vidrio y poliéster).

Tipos de aerogeneradores

Se puede diferenciar a los aerogeneradores en dos grandes grupos según sea la posición del eje de rotación: de eje vertical y de eje horizontal. Ambas tecnologías tienen sus aspectos favorables y desfavorables.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección de donde sopla el viento, porque cualquiera sea ella, acciona en la misma forma sobre su rotor. Además, los equipos de generación y control se ubican al pie de la estructura simplificando de esta manera el acceso a los mismos y abaratando por consiguiente el mantenimiento.

También ofrecen una robustez y resistencia destacable para ser utilizados en zonas de vientos arranchados y de direcciones cambiarias.

Como principal elemento desfavorable se puede mencionar que la eficiencia de conversión energética es algo menor que la de los del otro tipo.

En los aerogeneradores de eje horizontal, el plano de rotación debe conservarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía. En consecuencia, para adecuarse a las variaciones de dirección, debe instalarse algún mecanismo que oriente la posición del rotor.

En equipos pequeños y medianos (hasta unos 10 ó 15 Kw.) el sistema de orientación es sencillo y mecánico, representado por un timón de cola que reacciona en forma automática.

En equipos de mayor tamaño y muy especialmente en los grandes (de más de 100 Kw.), la orientación del equipo se controla electrónicamente a través de un sistema computarizado. El generador, así como la caja de multiplicación, están ubicados en el cuerpo del equipo, que se encuentra en la parte superior de la torre. Este trae aparejado por un lado la necesidad de un importante cableado para conducir la corriente generada y las señales enviadas al sistema de control y por otro el inconveniente que cuando se produce alguna avería o se efectúa un control de rutina, es necesario subir a la torre.

Como se ve, las diferencias a favor o en contra de cualquiera de las dos tecnologías no alcanzan a ser de suficiente envergadura como para descalificar a ninguna de ellas. De todos modos, es importante acotar que más del 80% de los fabricantes se inclinan por el sistema de eje horizontal.

Ventajas y desventajas

El uso de toda fuente energética presenta tanto ventajas como desventajas, por lo que es importante, antes de emprender una utilización, efectuar un balance entre los pro y los contra de una u otra posible a utilizar.

La energía eólica, por supuesto, no puede escapar a esta premisa. Como principales ventajas se pueden mencionar:

- es inagotable
- no es contaminante
- es de libre acceso (gratuita)
- se puede aprovechar en la medida de las necesidades del momento

En cambio las mayores desventajas indican:

- se encuentra dispersa
- es intermitente y aleatoria (no continua)

La condición que se puede considerar normal en la mayor parte del planeta es que las características del viento no resulten suficientemente adecuadas para su utilización como fuente energética importante, salvo para aprovechamientos de pequeña potencia. No obstante, existen regiones donde las condiciones de ocurrencia del recurso energético son tales que resultan sumamente ventajosas para su aprovechamiento.

Desde el punto de vista económico, aún cuando la inversión inicial necesaria para la instalación de los sistemas de captación eólica es mayor que la requerida para un sistema diesel, los equipamientos eólicos tienen bajos costos de mantenimiento,

“combustible” gratis y una vida útil prolongada (20 años o más), lo que les permite competir cada vez más eficazmente con otras fuentes energéticas.

La energía eólica en Argentina

Argentina es un país con larga tradición eólica. Se estima que la llanura pampeana cuenta aún hoy con la mayor concentración de molinos de campo de todo el mundo, con más de 400.000 ejemplares en existencia. Si bien las primeras máquinas de viento equipadas para generar electricidad aparecieron a comienzos del siglo pasado, la novedad de su tecnología y sus mayores costos relativos resultaron barreras insalvables para su difusión en una época dominada por los combustibles fósiles. Fue el principio del fin de la era del petróleo barato en 1973 lo que marcó el renacer del viento como fuente energética viable. Actualmente el alto grado de desarrollo alcanzado por los aerogeneradores modernos permite al viento aportar un porcentaje relevante de la generación eléctrica en muchos países.

El primer parque eólico comercial argentino se instaló en Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut, en 1994 (500 kW). Nuestro país, pionero en Latinoamérica, dispone actualmente de 13 parques eólicos localizados en 6 provincias que suman una potencia instalada de 29,7 MW, registrando un interesante factor de planta medio cercano al 30%, aun cuando los parques funcionando en la Patagonia alcanzan regularmente factores de utilización muy superiores, con valores tan altos como 40% o más. Varios de estos emprendimientos han crecido al amparo de los beneficios fiscales concedidos por el “Régimen Nacional de la Energía Eólica y Solar” introducido por la Ley 25.019/98.

El más representativo es seguramente el parque eólico “Antonio Morán” de la Sociedad Cooperativa Popular de Comodoro Rivadavia, que con 26 aerogeneradores en servicio, es uno de los más grandes de Sudamérica.

Las perspectivas del país en materia de energía eólica son francamente alentadoras. Se estima que el potencial eólico patagónico al sur del paralelo 42 encierra una energía decenas de veces mayor al contenido en toda la producción anual argentina de petróleo. Mas aún, no solo el extremo sur argentino posee condiciones favorables para la instalación de granjas eólicas, existen asimismo numerosas regiones aptas en las provincias de Río Negro y Neuquén, en varias zonas serranas y costeras de la provincia de Buenos Aires, y en muchos otros sitios puntuales de todo el país.

En este sentido, el Plan Nacional de Energía Eólica encomendado por el Ministerio de Planificación Federal al Centro Regional de Energía Eólica del Chubut (CREE), sienta las bases para el primer desarrollo nacional de envergadura en esta materia. El plan no sólo comprende la confección del mapa eólico nacional (ideado para identificar los sitios de emplazamiento óptimos) sino que también prevé la instalación de parques con una potencia sumada del orden de los 300 MW en un lapso cercano a tres años. La primera etapa del Plan es la concreción del proyecto “Vientos de la Patagonia I”, que supone la construcción de un parque de 50 a 60 MW en cercanías de la ciudad de Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut. En sucesivas etapas se contempla instalar parques similares en las provincias de Santa Cruz, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén, La Rioja y San Juan.

Naturalmente la concreción de esta ambiciosa iniciativa plantea numerosos desafíos tecnológicos, logísticos e industriales, pero indudablemente el país dispone de todos los recursos técnicos y humanos necesarios para afrontarlos. A largo plazo, la suma de proyectos públicos y privados identificados ronda aproximadamente los 2000 MW.

Bibliografía:

- "Curso de orientación para el control de la contaminación del aire" Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Carpeta de Información sobre el Cambio Climático publicada por el PNUMA y la UNFCCC, actualizada hasta julio de 2003.
- Ingeniería y Ciencias Ambientales (Mackenzie L. Davis - Susan J. Masten) Mc Graw Hill Interamericana 2005
- SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN: Contenidos didácticos: Energía Eólica