

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS



Autor:
Ing. MSc. OSCAR JAVIER MEDINA GONZÁLEZ

BOGOTÁ
Junio de 2011

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
UNIDAD 1. CARACTERÍSTICAS, CAUSAS Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	10
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA I	10
Lección 1. Antecedentes históricos de la contaminación atmosférica.	10
Lección 2. La atmósfera, definición, sus propiedades físico-químicas y biológicas.	14
Lección 3. Química atmosférica.....	17
Lección 4. Contaminantes atmosféricos.	20
Lección 5. Contaminantes primarios y secundarios, criterio y no criterio.....	28
CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA II	31
Lección 6. Orígenes de los contaminantes atmosféricos	31
Lección 7. Fuentes de contaminantes atmosféricos: fuentes móviles, fijas, puntuales y de área.....	36
Lección 8. Contaminación del aire en interiores.....	39
Lección 9. Contaminación por olores.	43
Lección 10. Contaminación acústica.	47
CAPITULO 3. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y CONTAMINACIÓN POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	52
Lección 11. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de la personas.	52
Lección 12. Efectos de los contaminantes atmosféricos en plantas, animales, materiales y servicios	54
Lección 13. Efectos globales de los contaminantes atmosféricos.	56
Lección 14. Efectos a la salud y al ambiente de la contaminación acústica.	59
Lección 15. Contaminación por campos electromagnéticos.....	62

UNIDAD 2. PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	66
CAPITULO 4. METEOROLOGÍA APLICADA A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	66
Lección 16. Generalidades del clima.	66
Lección 17. Variables meteorológicas I: características del viento y radiación solar	70
Lección 18. Variables meteorológicas II: temperatura del aire, humedad y precipitación.	78
Lección 19. Estabilidad atmosférica y altura de mezcla.	84
Lección 20. Factores naturales y antropogénicos que influyen en el transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos.	91
Capítulo 5. MODELOS, PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS, Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES GENERADAS POR FUENTES FIJAS	97
Lección 21. Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.	97
Lección 22. Equipos utilizados en la medición de contaminantes atmosféricos: fase de campo y laboratorio.	103
Lección 23. Conceptos básicos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.	107
Lección 24. Concepto del Índice de Calidad del Aire (ICA).	111
Lección 25. Procedimientos para la medición de contaminantes atmosféricos: medición directa, balance de masas, factores de emisión y modelos por computador.	117
CAPÍTULO 6. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA MEDICIÓN DE EMISIONES, MEDICIÓN DE RUIDO, MEDICIÓN DE OLORES Y, LEGISLACIÓN AMBIENTAL.....	121
Lección 26. Procedimientos de evaluación de emisiones utilizados en Colombia.	121
Lección 27. Monitoreo de la contaminación acústica: mapas de ruido, mediciones de ruido y ruido ambiental.....	125
Lección 28. Técnicas y métodos internacionales para la medición de olores.....	126
Lección 29. Legislación ambiental internacional asociada con contaminantes atmosféricos.	130
Lección 30. Legislación ambiental nacional y convenios internacionales relacionados con contaminantes atmosféricos.	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire seco a nivel del mar.	16
Tabla 2. Contaminantes atmosféricos primarios asociados a grandes problemas medioambientales.....	29
Tabla 3. Niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio en Colombia.....	31
Tabla 4. Actividades domésticas y tipo de contaminantes atmosféricos que emiten.....	33
Tabla 5. Sustancias que originan olores frecuentes y sus fuentes generadoras.....	45
Tabla 6. Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A - dB(A) y estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental.....	50
Tabla 7. Efectos del ruido sobre la salud	59
Tabla 8. Escala Beaufort para la fuerza del viento, con indicación de las velocidades equivalentes en metros por segundo.....	74
Tabla 9. Componentes principales de un equipo de monitoreo por medición directa	105
Tabla 10. Puntos de corte del ICA	113
Tabla 11. Efectos a la salud de acuerdo con el rango y valor del Índice de Calidad del Aire	114
Tabla 12. Acciones preventivas de acuerdo al rango y al valor del Índice de Calidad del Aire	115
Tabla 13. Métodos para la evaluación de emisiones contaminantes	122
Tabla 14. Volúmenes, tiempos mínimos de medición y otras consideraciones para la toma de la muestra por actividad.....	123
Tabla 15. Normas técnicas colombianas relacionadas con la medición de ruido.....	126
Tabla 16. Correlación entre los atributos del sentido del olfato y las propiedades de los olores	128
Tabla 17. Reglamentación sobre calidad del aire, Estados Unidos y Japón	130

Tabla 18. Legislación colombiana relacionada con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de contaminantes a la atmósfera.	133
Tabla 19. Legislación de Bogotá D.C. relacionada con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de de contaminantes a la atmósfera.	140
Tabla 20. Convenios internacionales ratificados por Colombia relacionados con contaminantes atmosféricos.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas de la atmósfera	15
Figura 2. Síntomas y enfermedades relacionados con la calidad del aire interior	41
Figura 3. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior.....	42
Figura 4. Esquema de la circulación general de la atmósfera: en los trópicos predominan los Alisios	70
Figura 5. Rosa de los vientos	74
Figura 6. Pluviógrafo y pluviómetro	83
Figura 7. Gradiente vertical ambiental e inversión de la temperatura.....	86
Figura 8. Relación del gradiente adiabático con la temperatura del aire.	87
Figura 9. Altura de mezcla	88
Figura 10. Aumento de la flotabilidad relacionado con la inestabilidad, gradiente vertical superadiabático	89
Figura 11. Condiciones inestables de la atmósfera	89
Figura 12. Condiciones neutrales y estables de la atmósfera	90
Figura 13. Pluma de espiral	92
Figura 14. Pluma de abanico	92
Figura 15. Pluma cono	93
Figura 16. Pluma de flotación	94
Figura 17. Fumigación.....	94
Figura 18. Elevación de la pluma	95
Figura 19. Ejemplos de flujo descendente de la pluma.....	96
Figura 20. Distribución gaussiana	100
Figura 21. Representación esquemática de la pluma gaussiana.....	101
Figura 22. Logo símbolo del Índice de calidad de aire en Colombia	112

ASPECTOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL Y VERSIONAMIENTO

El contenido didáctico del curso académico *Caracterización De Contaminantes Atmosféricos* fue diseñado por Oscar Javier Medina González, quien es Ingeniero Químico, y Magíster en Ingeniería Ambiental. Se ha desempeñado como consultor privado en cuya actividad ha participado en proyectos desarrollados por entidades tales como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la Secretaría Distrital de Ambiente, la Unidad Administrativa Especial de Servicios, la Secretaria de Educación del Distrito Capital y la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, entre otras. Para citar este material por favor hacerlo de la siguiente manera:

Medina, O. (2011). *Caracterización de Contaminantes Atmosféricos*. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

INTRODUCCIÓN

El curso Caracterización de contaminantes atmosféricos es un espacio para que los estudiantes de los programas ambientales de la UNAD, Tecnología en Saneamiento Ambiental e Ingeniería Ambiental, adquieran una visión sistémica de la contaminación atmosférica, a través de la identificación y caracterización de los contaminantes atmosféricos, considerando sus efectos y los procedimientos, métodos y/o técnicas para su medición.

Para lo anterior, en la unidad 1, se realiza una revisión de antecedentes históricos de la contaminación atmosférica y una descripción de las propiedades físico-químicas y biológicas de la atmósfera. Teniendo en cuenta que los contaminantes atmosféricos se ven sometidos a diferentes transformaciones en la atmósfera, se presenta una descripción de la química atmosférica. Posteriormente, se presentan generalidades de los contaminantes atmosféricos lo que incluye su clasificación, origen, fuentes de emisión y efectos sobre las personas, plantas, materiales y servicios, así como los fenómenos ambientales a gran escala.

En la unidad 2 se describen las variables meteorológicas que influyen en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, los factores naturales y antropogénicos que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos así como una descripción de modelos de dispersión. En segundo lugar, se hace una revisión de diferentes procedimientos, métodos y técnicas para la medición de emisiones atmosféricas y acústicas. Finalmente, se presenta la legislación ambiental nacional e internacional relacionada con calidad del aire. Lo anterior permitirá al estudiante interiorizarse con los procedimientos, métodos y parámetros relacionados para la medición de contaminantes atmosféricos teniendo en cuenta la normatividad relacionada con emisiones atmosféricas y ruido.

El módulo se estructura en 2 unidades, equivalente a 6 capítulos y 30 lecciones, el cual permite fomentar competencias relacionadas con la comprensión de la dinámica de los contaminantes atmosféricos, base fundamental para el fortalecimiento de la formación profesional de los estudiantes de los programas ambientales.

Bienvenidos!

UNIDAD 1	
Nombre de la Unidad	CARACTERÍSTICAS, CAUSAS Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
CAPÍTULO 1	GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA I
Lección 1	Antecedentes históricos de la contaminación atmosférica.
Lección 2	La atmósfera, definición, sus propiedades físico-químicas y biológicas.
Lección 3	Química atmosférica.
Lección 4	Contaminantes atmosféricos.
Lección 5	Contaminantes primarios y secundarios, criterio y no criterio.
CAPÍTULO 2	GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA II
Lección 6	Orígenes de los contaminantes atmosféricos.
Lección 7	Fuentes de contaminantes atmosféricos: fuentes móviles, fijas, puntuales y de área.
Lección 8	Contaminación del aire en interiores.
Lección 9	Contaminación por olores.
Lección 10	Contaminación acústica.
CAPÍTULO 3	EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y CONTAMINACIÓN POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS
Lección 11	Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de la personas.
Lección 12	Efectos de los contaminantes atmosféricos en plantas, animales, materiales y servicios.
Lección 13	Efectos globales de los contaminantes atmosféricos
Lección 14	Efectos a la salud y al ambiente de la contaminación acústica.
Lección 15	Contaminación por campos electromagnéticos

UNIDAD 1. CARACTERÍSTICAS, CAUSAS Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

La dinámica de los contaminantes atmosféricos incluye una diversidad de variables cada una de las cuales es fundamental conocer para entender a profundidad el comportamiento y efecto de estos contaminantes.

En esta unidad se abordan temas claves dentro del conocimiento de la contaminación atmosférica. En primer lugar se presentan antecedentes históricos de la contaminación atmosférica; a continuación se incluye una descripción de la atmósfera, incluyendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas; luego se aborda el tema de la química atmosférica. Posteriormente, se presenta una descripción de los contaminantes atmosféricos, su clasificación, origen y tipos de fuentes de emisión. Finalmente, se incluye una revisión de los efectos generales de los contaminantes atmosféricos.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA I

Lección 1. Antecedentes históricos de la contaminación atmosférica.

Las actividades humanas siempre han llevado inherente la contaminación del ambiente pero no fue hasta finales del siglo XX que se le empezó a prestar atención debido al aumento en la frecuencia y gravedad de los incidentes contaminantes en todo el mundo; además, cada día hay más evidencias de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud.

Antes de hacer una revisión de los antecedentes históricos de la contaminación atmosférica es importante definirla. Una de las definiciones propuestas es la siguiente “Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades” (Wark, Kenneth and Warner, 1990). En Colombia se define la contaminación atmosférica de la siguiente forma “Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

La contaminación del aire y los esfuerzos por controlarla no son un fenómeno reciente, las primeras actividades relacionadas con dicho control datan del siglo XIII, cuando el rey Eduardo I de Inglaterra prohibió la quema de ciertos carbones altamente contaminantes

en Londres originando las primeras ordenanzas de control de la contaminación (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente- CEPIS, 1982). Durante el reinado de Ricardo II, entre los años 1377 y 1399, y en el de Enrique V, durante los años 1413 y 1422, en Inglaterra se reglamento y restringió el uso del carbón. Una de las primeras publicaciones de que se tiene conocimiento y que trata de la contaminación del aire es un panfleto publicado en 1661 por orden real de Carlos II: “Fumifugium; o como disipar las inconveniencias del aire y el humo de Londres; junto con algunas soluciones propuestas con toda humildad” escrito por John Evelyn (Wark, Kenneth and Warner, 1990).

El uso del carbón para generar energía fue un importante factor en la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, la cual se constituyó en la base de nuestra sociedad tecnológica actual pero, lamentablemente, al mismo tiempo en el punto de partida de la contaminación y degradación del ambiente. Los casos de contaminación se agravaron considerablemente después de la Segunda Guerra mundial cuando en el mundo aumentó el consumo de energía, así como la extracción, producción y el uso de diversas sustancias tanto naturales como artificiales rebasando la capacidad de los ecosistemas para regenerarlas, asimilarlas y/o degradarlas.

Los procesos naturales, entre los que se encuentran los incendios forestales, la descomposición de la materia orgánica, las tormentas de arena y las erupciones volcánicas, siempre han contaminado el aire. Mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, la atmósfera ha podido limpiarse por sí sola; sin embargo, aun siendo mucho menor la cantidad de los gases y material particulado reconocidos como contaminantes y emitidos por fuentes antropogénicas comparada con la cantidad emitida por fuentes naturales, la tasa a la que el hombre descarga los contaminantes a la atmósfera en regiones densamente pobladas excede a veces la capacidad de limpieza natural de la atmósfera. Por lo anterior, la mayor parte de la contaminación del aire la provoca el hombre.

El interés por la contaminación del aire en América Latina y el Caribe se inició en la década de los cincuenta, cuando las universidades y los ministerios de salud efectuaron las primeras mediciones de la contaminación del aire. En 1965, el Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud – OPS -recomendó a su Director establecer programas de investigación sobre contaminación del agua y aire, así como colaborar con los Gobiernos Miembros en el desarrollo de políticas adecuadas de control. Cuando la OPS inició su programa regional, ningún país era consciente de la magnitud de sus problemas de contaminación del aire. A través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, la OPS acordó establecer una red de estaciones de monitoreo de la contaminación del aire, denominada “Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire” (CEPIS, 1982).

Para conocer más acerca de la “Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire” consulta la siguiente publicación:

http://www.eclac.org/publicaciones/xml/5/9835/lcl1548e_1.pdf

Episodios graves de contaminación del aire

Como se mencionó, las actividades humanas siempre han llevado inherente la contaminación del aire pero hasta el siglo XX se iniciaron a presentar los primeros episodios graves de contaminación.

Los tres episodios de contaminación del aire más famosos del siglo XX sucedieron en el Valle del Meuse, Bélgica; Donora, Pensilvania; y, Londres, Inglaterra.

Las tres tragedias coincidieron con una condición meteorológica conocida como inversión térmica. Normalmente, el aire caliente de la superficie terrestre asciende y el aire frío de la parte superior de la atmósfera cae con lo cual se crea una circulación natural que dispersa los contaminantes 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.

En el episodio del Valle del Meuse, una zona industrial de Bélgica, el cual ocurrió en diciembre de 1930, la atmósfera se cubrió durante 3 días de una espesa niebla, por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron. Poco después, en 1931, una espesa niebla cubrió el área de Manchester y Salford en Inglaterra durante 9 días lo que conllevó a la muerte de 592 personas. En 1948, en el episodio de Donora, Pennsylvania, un pequeño pueblo en donde había plantas químicas y acerías se cubrió por una niebla durante 4 días y enfermó casi la mitad de sus 14,000 habitantes y murieron 20; diez años después los residentes de Donora que habían estado gravemente enfermos durante el episodio mostraron una tasa más alta de enfermedad y morían antes que el promedio de todos los habitantes (Wark, Kenneth and Warner, 1990).

En el episodio de Londres, ocurrido en 1952, se evidenció el siniestro potencial de la contaminación del aire; una niebla cubrió la ciudad desde el 5 hasta el 8 de diciembre y 10 días después se supo que el número total de muertes en la región principal de Londres sobrepasaba en 4000 al promedio. Las estadísticas indicaron que casi todos los que habían muerto inesperadamente tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardíacos y que las personas clasificadas en la última categoría eran las más vulnerables (Wark, Kenneth and Warner, 1990).

En Colombia se pueden identificar como casos importantes de contaminación atmosférica los presentados en el Valle de Sogamoso y en el Valle del Cauca. En el caso del Valle de Sogamoso, en el año 2000 había en funcionamiento 720 hornos de alfarería, donde se producían ladrillo y teja; estos hornos, llamados de fuego dormido, operaban con carbón y no tenían filtro alguno, por lo cual los gases y demás contaminantes de la combustión del carbón iban a la atmósfera; el principal contaminante procedente de los hornos es material particulado. En dicho año, por disposición de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá – Corpoboyacá - fueron cerrados 200 de los 720 hornos de alfarería que había en el perímetro urbano de Sogamoso. Sin embargo, siguen en operación 408 en el sector rural, los cuales utilizan coque como combustible. Aunque no existe un estudio que compruebe que la contaminación ambiental sea la responsable de enfermedades pulmonares en Sogamoso, a las autoridades de esa ciudad les preocupa que la principal causa de muerte sea el cáncer pulmonar; en el 2005 murieron 42 personas por esta enfermedad (Rodríguez, 2006).

Para conocer más acerca de la contaminación atmosférica en Sogamoso visita las siguientes direcciones:

<http://www.aseduisboyaca.com/modules.php?name=News&file=print&sid=12>

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-939438>

<http://sur.uniandes.edu.co/documentos/Evaluacion%20de%20la%20exposicion%20a%20contaminacion%20por%20hornos.pdf>

En el Valle del Cauca ha sido una práctica común la quema de la caña de azúcar. Debido a las condiciones climáticas del valle geográfico del río Cauca, la caña de azúcar puede ser sembrada y cosechada a lo largo de todo el año; su cosecha se puede llevar a cabo de manera mecánica, alcanzando rendimientos entre 20 y 30 toneladas por hora o manualmente a través del corte de la caña; éste puede hacerse en verde o quemando la caña. Sin quemar la caña de azúcar, un cortero corta entre dos y tres toneladas diarias, mientras que si se quema la caña, se alcanza un rendimiento de entre cinco y seis toneladas diarias por cortero. Por consiguiente, quemar la caña de azúcar antes de la cosecha facilita la tarea de cortar generando un aumento del 100% en la productividad de los corteros. Éste es uno de los principales motivos por los cuales dicha actividad es tan popular y tan practicada. Diferentes estudios han demostrado la relación entre las quemas de caña realizadas en la región y las enfermedades pulmonares de su población; específicamente, el estudio de Dávalos, 2007, identificó que la población de Palmira, localizada en el Valle del Cauca, se está viendo afectada por la contaminación del aire causada por la quema de la caña de azúcar lo cual se refleja en las numerosas consultas médicas efectuadas por infecciones respiratorias agudas – IRA.

Para consultar el artículo “La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?” de Dávalos visita el siguiente sitio:

http://economia.uniandes.edu.co/investigaciones_y_publicaciones/CEDE/Publicaciones/Revista_Desarrollo_y_Sociedad/Ediciones/revista_desarrollo_y_sociedad_no_59/la_cana_de_azucar_una_amarga_externalidad

Lección 2. La atmósfera, definición, sus propiedades físico-químicas y biológicas.

La atmósfera es una mezcla de gases con partículas líquidas y sólidas en suspensión la cual es vital para el ambiente ya que a través de ella se transmite y altera la energía solar que controla el clima; además, actúa como una barrera protectora contra los impactos de meteoritos y la radiación penetrante como lo son los rayos ultravioletas procedentes del sol. Desde el punto de vista biológico, la atmósfera es de gran importancia porque a través de ella se transportan semillas y esporas además de contener los gases esenciales para el sustento de la vida.

La atmósfera está dividida en cuatro capas: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la Termosfera, como se muestra en la Figura 1. La capa inferior, la troposfera, está conformada por aproximadamente tres cuartos de la masa atmosférica y contiene casi todos los componentes hídricos de la atmósfera es decir el vapor, las nubes y precipitación. Esta capa es la más agitada y la que determina el clima de la tierra. En la troposfera la temperatura disminuye a una tasa promedio de 6.5 °C por kilómetro y en su límite superior, es decir en la tropopausa, la temperatura deja de disminuir y llega a un valor cercano a los - 55 °C.

Por encima de la tropósfera se encuentra la estratosfera, que se extiende hasta los 50 km. En ella la temperatura aumenta con la altura hasta un valor cercano a 0 °C en su límite superior denominado estratopausa. Por encima de la estratósfera la temperatura disminuye con la altura, definiendo la zona denominada mesosfera; la temperatura deja de disminuir en su parte superior a los -90 °C formando una zona de transición de temperatura constante denominada mesopausa. Por encima de ese nivel, y hasta un nivel superior no bien definido la temperatura vuelve a aumentar con la altura definiendo la capa denominada Termosfera.

Para su estudio la atmósfera se divide en dos partes: la baja que va hasta los 100 km sobre el nivel del mar y la alta; la meteorología estudia la atmósfera baja mientras la aeronomía es la ciencia que estudia la atmósfera alta. Las reacciones químicas y las fuerzas electromagnéticas juegan un papel más relevante en la aeronomía que en la meteorología (Henry, 1999).

Para complementar la lección visita los siguientes sitios:

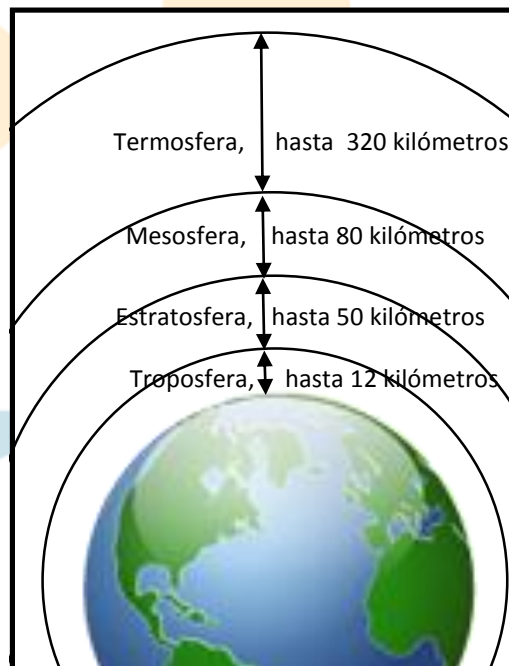
http://www.uc.cl/sw_educ/contam/fratmosf.htm

<http://www.areaciencias.com/VIDEOS%20Y%20POWERS/VIDEOS/atmosfera/ATMOSFERA.html>

<http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=jAa-1--&x=60883>

<http://www.librosvivos.org/videos/>

Figura 1. Capas de la atmósfera



Fuente: El autor

La atmósfera, más específicamente la troposfera, es el medio en el que se emiten la mayor parte de los contaminantes del aire. El transporte de los contaminantes en la atmósfera está determinado por la velocidad y la dirección de los vientos; por otro lado su tasa de dispersión depende de la estructura térmica de la atmósfera, así como de la agitación mecánica del aire a medida que se desplaza sobre los diferentes accidentes geográficos.

La radiación solar y la humedad, así como otros componentes de la atmósfera, conllevan a la transformación de las sustancias contaminantes emitidas en el aire. La remoción natural de los contaminantes depende tanto de sus características como también de fenómenos climáticos como la lluvia, la nieve y la niebla. Estos fenómenos meteorológicos interactivos se estudian como parte de la meteorología de la contaminación del aire.

Propiedades físico químicas de la atmósfera

La masa total de la atmósfera es de aproximadamente 5×10^{15} t, lo que representa solo una millonésima parte de la masa total de la tierra. De dicha masa atmosférica, el 99% se encuentra en los primeros 30 km. La composición de la atmósfera es estable y sus componentes principales están regulados por ciclos de formación y descomposición que conllevan a concentraciones relativamente constantes sobre todo en la atmósfera baja.

Como el vapor de agua desempeña un papel especial en la atmósfera usualmente se estudia por separado y se dice que la atmósfera se compone de aire seco, partículas en suspensión y vapor de agua. La composición del aire seco varía muy poco en los primeros 80 km de la atmósfera; en la Tabla 1 se presenta la composición media del aire seco a nivel del mar (Figueroa, 2004).

El aire seco presenta otros componentes en cantidades trazas; entre dichos componentes se pueden citar como ejemplo los óxidos de azufre, otros óxidos de nitrógeno, diversos hidrocarburos y el sulfuro de hidrógeno, entre otros.

Tabla 1. Composición del aire seco a nivel del mar.

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN	COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN
Nitrógeno, N ₂	78.085	Criptón, Kr	0.00011
Oxígeno, O ₂	20.946	Hidrogeno, H ₂	0.000058
Argón, Ar	0.934	Oxido nitroso, N ₂ O	0.000031
Dióxido de carbono, CO ₂	0.0314	Monóxido de carbono, CO	0.00001
Neón, Ne	0.00182	Xenón, Xe	8.7 X 10 ⁻⁶
Helio, He	0.000524	Ozono, O ₃	(1-50) X 10 ⁻⁶
Metano, CH ₄	0.00015	Amoniaco, NH ₃	(0.01-1) X 10 ⁻⁷

Fuente: (Figueroa, 2004)

Dada a la composición relativamente constante del aire este puede ser tratado como un solo gas cuyo peso molecular es de 0.028964 kg/mol. En el intervalo de temperaturas y presiones observadas en la naturaleza, el aire seco obedece la ley de gases ideales.

El agua se incorpora a la atmósfera mediante el proceso de evaporación y es removido de ella mediante el proceso de condensación en las nubes, y posterior precipitación en forma líquida a través de la lluvia o en forma sólida a través de la nieve o granizo. El vapor de agua y el CO₂ son los dos componentes gaseosos más importantes en la generación del efecto invernadero en la atmósfera terrestre.

Las partículas más pequeñas presentes en la atmósfera al no poder precipitarse con rapidez forman aerosoles con el aire. Las partículas son abundantes en las zonas continentales, especialmente en las ciudades; en las zonas marítimas el número de partículas es menor pero su tamaño es mayor por lo que desempeñan un papel importante en la condensación. Los aerosoles son fundamentales en la formación de las nubes, la lluvia y la nieve.

Se recomienda consultar la publicación “Ese océano de aire en el que vivimos: origen, evolución, estado actual y futuros posibles de la atmósfera terrestre” la cual integra en un solo texto la interrelación de los fenómenos que constituyen la dinámica atmosférica y la manera como ellos se retroalimentan; además, busca exponer y explicar temas relaciones con la formación de la atmósfera y con los efectos adversos a los que está siendo sometida.

Lección 3. Química atmosférica.

Química de la estratosfera

La mayoría de las sustancias presentes en la troposfera son transformadas en la troposfera por mecanismos físicos y/o químicos, por lo que solo las especies menos reactivas alcanzan la estratosfera e intervienen en la química de esta región. Por otra parte, el contenido de agua de la estratosfera es muy bajo, con ausencia de precipitaciones, ya que la mayor parte del vapor de agua condensa antes de atravesar la tropopausa, donde se alcanzan las temperaturas más bajas de la baja atmósfera, la cuales están alrededor de los -50 °C. Por lo anterior, la eliminación de aerosoles y contaminantes gaseosos por precipitación, un mecanismo de autodepuración de la atmósfera, no está generalmente presente en la estratosfera. Consecuentemente, los materiales que de alguna forma entran en la estratosfera por difusión lenta a través de la tropopausa, corrientes verticales en los trópicos, erupciones volcánicas y tormentas, entre otros, permanecen en ella largos periodos de tiempo formando capas estratificadas (Martínez y Díaz, 2004).

A diferencia del resto de los componentes traza, normalmente la concentración de ozono aumenta en los primeros kilómetros de la estratosfera alrededor de un orden de magnitud. El ozono en la estratosfera es de gran importancia debido a que actúa como escudo protector de los organismos vivos, filtrando la radiación ultravioleta de longitud de onda menor a 290 nm; además, determina el perfil vertical de temperatura de la estratosfera siendo responsable del calentamiento estratosférico y es muy reactivo, por lo cual interviene en muchas reacciones químicas. Por estos motivos, la química de la estratosfera gira en torno a la química del ozono y al efecto que las distintas especies traza presentes tienen sobre la concentración del mismo. La complejidad de la química de esta región, aún siendo grande, es inferior a la de la troposfera debido a que el número de especies químicas presentes es mucho menor.

Para conocer más acerca de la química del ozono visita el siguiente sitio:

http://www.minambiente.gov.co/documentos/revista_ozono.pdf

Química de la troposfera

Las especies químicas presentes en la troposfera, bien por formar naturalmente parte de la composición de ésta o bien porque han llegado a ella procedentes de emisiones desde la superficie terrestre, una vez se encuentran en ella pueden ser sometidas a tres procesos. Uno de ellos es que sufran reacciones químicas en la zona de emisión; otra posibilidad es que se transporten a la estratosfera en la que puede sufrir diferentes procesos de transformación química. La tercera posibilidad es que tras cierto tiempo en la troposfera se depositen de nuevo sobre la superficie terrestre, ya sea por vía seca o por vía húmeda.

Desde el punto de vista de la reacción química hay una serie de factores que influyen en la reactividad que se da en esta parte de la atmósfera. El comportamiento de la troposfera es muy diferente al de la estratosfera. El transporte de especies química de la troposfera a la estratosfera es mucho más lento que la mezcla dentro de la propia troposfera. Del gran número de especies emitidas a la troposfera desde la superficie de la tierra, aquellas cuyo tiempo de vida sea menor de un año se eliminan en la propia troposfera. (Martínez y Díaz, 2004).

Aunque la mayor parte de la radiación solar de mayor energía es absorbida por la estratosfera, a la troposfera llega radiación solar capaz de iniciar ciertas reacciones fotoquímicas.

La composición es otro factor decisivo en la química de la troposfera; su parte alta está constituida fundamentalmente por N_2 , O_2 , H_2O y gases nobles. Las especies trazas más abundantes son CO_2 en 350 ppm, CH_4 en 1.7 ppm, H_2 en 0.6 ppm, y N_2O en 0.3 ppm; otras especies traza como el CO , SO_2 , NO , NO_2 y O_3 se encuentran presentes en una concentración menor pero no por ello son menos importantes en cuando su reactividad. También se encuentra presente una cantidad considerable de agua en estado sólido y en estado líquido con importantes cantidades de gases traza disueltos en ella. (Martínez y Díaz, 2004).

En la parte más baja de la troposfera, además de los gases mencionados, aparecen cientos de compuestos emitidos a la atmósfera por acción del hombre y de forma natural en concentraciones localmente altas. De entre ellos se pueden señalar SO_2 , NO_x , COV, CO , CO_2 y material particulado. La composición de esta parte de la troposfera va variando y aumentando su complejidad a medida que se van apareciendo en ella una mayor diversidad de compuestos debido a la actividad humana.

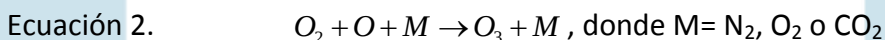
La troposfera es un medio oxidante, la tendencia de las especies en ella presentes es la de reaccionar oxidándose, así por ejemplo, los hidrocarburos se oxidan a aldehídos éstos a ácido y éstos a ácido y éstos por último originan CO_2 .

Las principales especies químicas oxidantes presentes en la troposfera y que van a determinar su química, son por un lado el radical hidroxilo, OH, el radical nitrato, NO_3 y el ozono O_3 . El radical OH, de origen fotoquímico, dominará la química de la troposfera durante el día mientras el radical NO_3 que sufre fotólisis determinará la química durante la noche. Aunque la mayoría de los compuestos presentan una mayor reactividad con el radical OH, que con el radical NO_3 , la mayor concentración de este radical, 10^8 moléculas por cm^3 frente a 10^5 moléculas por cm^3 para el radical OH, hace que los procesos reactivos del radical NO_3 sean decisivos en la química atmosférica.

Se puede resumir que la química en fase gaseosa de la troposfera corresponde a procesos de oxidación de las sustancias ahí presentes, en presencia de óxidos de nitrógeno y bajo la acción de la radiación solar, donde uno de los principales productos es el ozono.

Son muchos los procesos que están ocurriendo continuamente en la troposfera de los que se han estudiado una buena parte de ellos. Los más representativos se resumen a continuación.

- ✓ Ciclo fotoquímico básico de NO_2 , NO y O_3 . Está regido por las siguientes reacciones:



- ✓ Fotólisis del ozono. Está regida por las siguientes reacciones:

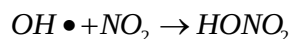


El oxígeno formado reacciona con vapor de agua originando el radical OH y a la vez se regenera el ozono:

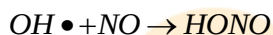


- ✓ Reacciones de NO_x . La principal reacción en la que se consumen NO_x durante el día son aquellas donde se producen ácido nítrico y ácido nitroso:

Ecuación 7.



Ecuación 8.



Para conocer más acerca de la química de la troposfera consulta la siguiente publicación:

<http://www.uclm.es/profesorado/mssalgado/QF%20Atm%C3%B3sfera%200910/programa%20alumnos%200910.pdf>

Lección 4. Contaminantes atmosféricos.

La Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT –define los contaminantes atmosféricos de la siguiente manera “Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas”.

La mayoría de los contaminantes atmosféricos pueden afectar directamente la salud de las personas, ya que ingresan al organismo a través del sistema respiratorio o de la piel. En otros casos, el contaminante es transportado desde el aire al suelo o a los cuerpos hídricos, donde posteriormente ingresa en la cadena trófica. El transporte de contaminantes desde la atmósfera hacia la superficie terrestre se produce por sedimentación de las partículas del aire y/o por absorción y arrastre de las lluvias. A continuación se hará una descripción de las características de los principales agentes contaminantes atmosféricos.

Material particulado – PM

El material particulado existente en el aire, corresponde a partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en la atmósfera y cuyos tamaños oscilan entre 2×10^{-4} y $5 \times 10^2 \mu m$. Debido a que son de diferente tamaño y forma, se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico. De acuerdo a su diámetro, se agrupan en finas y gruesas. Las partículas finas son las de diámetro aerodinámico menor o igual a $2,5 \mu m$, denominadas como PM_{2.5}. Otro grupo de partículas está constituido por aquellas cuyo diámetro aerodinámico se centra alrededor de las 10 micras, las cuales se denominan PM₁₀. Además, dentro de la clasificación se tienen las partículas suspendidas totales, o PST, que

se refiere a todas las partículas rodeadas por aire, en un determinado volumen de aire no perturbado (Sbarato, 2007).

Estas partículas se encuentran ampliamente repartidas en la atmósfera, y forman una suspensión estable en el aire. La composición química de las partículas depende de su origen y, generalmente, constituyen una mezcla de sustancias diversas, entre las cuales se puede mencionar: silicatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, óxidos, metales, carbón, alquitrán, resinas, polen, hongos, bacterias, etc. Muchas provienen de procesos naturales y son transportadas debido a la acción del viento; como ejemplos se puede citar las cenizas derivadas de los incendios y erupciones volcánicas, los aerosoles formados por la acción del viento sobre los océanos y la turbulencia del mar, el polvo de los suelos secos sin cobertura vegetal y el polen, entre otros. Además, las partículas son originadas por una gran gama de procesos tecnológicos tales como la combustión de madera y de combustibles fósiles, y, el procesamiento de material sólido que incluye las etapas de reducción de tamaño, secado y transporte (Wark, 1990).

Para conocer más acerca del contaminante atmosférico “Material particulado” visita los siguientes sitios:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper24.pdf>

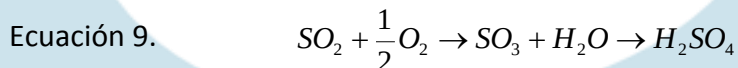
<http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/particulas-pm10,15673,11,2007.html>

<http://www.epa.gov/ncer/science/pm/>

Compuestos de Azufre

El dióxido de azufre, SO_2 , y el trióxido de azufre, SO_3 , son los principales óxidos de azufre presentes en la atmósfera. La principal fuente antropogénica de óxido de azufre es la combustión de combustibles fósiles ricos en azufre, como por ejemplo el carbón y el petróleo combustible, y representa cerca de un tercio del total del SO_2 atmosférico. El principal componente azufrado del carbón es la pirita, FeS_2 , la que se oxida a Fe_2O_3 y SO_2 durante la combustión. Otras actividades industriales relevantes son las refinerías de petróleo y las fundiciones de minerales sulfurados (Zaror, 2000).

El SO_2 es un gas que no se inflama, no es explosivo y es incoloro. En el aire, el SO_2 se oxida parcialmente en SO_3 y, en presencia de humedades altas, se transforma en ácido sulfúrico y sus sales, por medio de procesos fotoquímicos atmosféricos cuya reacción principal se presenta en la Ecuación 9.



Otro compuesto de azufre de relevancia ambiental es el sulfuro de hidrógeno - H_2S . El H_2S se produce a partir de la reacción del azufre con el hidrógeno en procesos industriales o naturales. Además, se genera como subproducto en la biodegradación anaeróbica en presencia de sulfatos. El H_2S tiene un fuerte olor a huevo podrido, que es detectado por el ser humano a muy bajos niveles de concentración, los cuales están alrededor de los $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentraciones mayores es altamente tóxico y explosivo por lo que sus emisiones deben mantenerse bajo estricto control. En presencia de oxígeno se oxida a SO_2 .

Para conocer más acerca de los compuestos de azufre contaminantes atmosféricos visita los siguientes sitios:

<http://www.prtr-es.es/SOx-oxidos-de-azufre,15598,11,2007.html>

http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_pr.html

<http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/no2so2sec/index.html>

<http://www.epa.gov/ttn/naaqs/so2/index.html>

Óxidos de Nitrógeno – NO_x

Los tres óxidos de nitrógeno que se encuentran comúnmente en la atmósfera son el óxido nitroso - N_2O -, el óxido nítrico – NO - y el dióxido de nitrógeno - NO_2 . Estos se denominan genéricamente NO_x . El N_2O es un gas relativamente poco reactivo y es un componente traza que se encuentra en la atmósfera naturalmente. El NO es un gas incoloro e inodoro; mientras que el NO_2 es café-rojizo y tiene un olor desagradable (Zaror, 2000).

Los óxidos de nitrógeno son producidos directa e indirectamente por procesos de combustión a altas temperaturas. En dichos procesos el N_2 presente en el aire se oxida para formar principalmente NO , el que se transforma en NO_2 mediante reacciones fotoquímicas. En las zonas urbanas, las concentraciones máximas de NO_x se presentan en las zonas con mayor tráfico. Los gases de escape de los motores de automóviles son ricos en NO y pobres en NO_2 . Generalmente, una pequeña fracción del total de NO_x está presente como NO_2 . Durante la mezcla inicial del aire con los gases de escape calientes, se oxida parte del NO a través de la reacción representada en la Ecuación 10.



Gran parte del dióxido de nitrógeno atmosférico se convierte en ácido nítrico y sales de nitrato; una reacción representativa de dicho proceso se presenta en la Ecuación 11. Las sales de nitrato forman material particulado y/o sedimentan o son arrastradas por la lluvia.



Para conocer más acerca de los óxidos de nitrógeno visita los siguientes sitios:

<http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/nox-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>

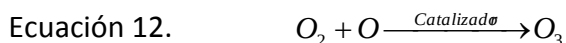
http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/nox/s_nox_index.html

Hidrocarburos

Además de los hidrocarburos de alto peso molecular, presentes en el material particulado, existe un amplio rango de compuestos orgánicos volátiles destacándose aquellos que poseen entre 1 y 4 átomos de carbono, ya que se encuentran en estado gaseoso bajo condiciones ambientales normales. Su importancia ambiental radica en su participación en las reacciones de oxidación fotoquímica. En dichas reacciones, los hidrocarburos se transforman en radicales libres generándose derivados aldehídos y otros compuestos oxidados como por ejemplo el formaldehído y el acetaldehído (Zaror, 2000).

Oxidantes Fotoquímicos

Cuando los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos se ponen en contacto, en presencia de luz solar, tiene lugar un conjunto de reacciones químicas complejas que generan contaminantes secundarios conocidos como smog fotoquímico (Zaror, 2000). El ozono es uno de los oxidantes fotoquímicos más abundantes y se genera por la reacción entre el O_2 y el oxígeno atómico - O, en presencia de un catalizador que estabiliza la molécula de ozono; lo anterior se representa en la Ecuación 12. El ozono se consume reaccionando con el monóxido de nitrógeno y se forma nuevamente oxígeno, como se puede ver en la Ecuación 13.



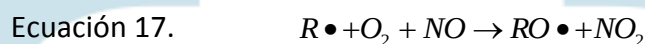
El ozono es un fotooxidante que se produce en la troposfera por efecto de la oxidación de monóxido de carbono e hidrocarburos en presencia de óxidos de nitrógeno y luz solar. De este modo, los hidrocarburos, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno constituyen precursores en la formación de ozono troposférico.

Por su parte, el oxígeno atómico se produce debido a la acción de la luz solar sobre el dióxido de nitrógeno. El oxígeno atómico es altamente reactivo y su interacción con el agua genera radicales hidroxilos, los que juegan un papel fundamental en los complejos

procesos químicos atmosféricos. La formación de los hidroxilos se representa a continuación



Los radicales hidroxilos reaccionan con los hidrocarburos – RH - para producir radicales libres de hidrocarburos - R• - en presencia de luz solar a longitudes de onda menores de 0,38 µm. Estas sustancias, a su vez, reaccionan con el NO para formar más NO₂. Lo anterior se representa en las siguientes ecuaciones.



El efecto neto de estas reacciones es que una molécula de hidrocarburo convierte dos moléculas de NO a NO₂ y produce una molécula de aldehído. Como se puede apreciar por cada molécula de NO₂ consumido se producen dos por lo que aumenta su concentración y disminuye la de NO.

Para conocer más acerca del ozono troposférico visita los siguientes sitios:

http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_index.html

<http://www.epa.gov/ttn/naaqs/ozone/index.html>

Óxidos de Carbono

Los óxidos de carbono están constituidos por el dióxido de carbono - CO₂ - y el monóxido de carbono - CO. El CO₂ generalmente no se considera como contaminante atmosférico debido a que es un componente natural de la atmósfera donde juega un importante papel en el efecto invernadero. Sin embargo, en la actualidad existe gran preocupación por las crecientes emisiones de este gas, como producto de la combustión, que conllevan a un efecto adverso en el balance térmico terrestre (Zaror, 2000).

Por su parte, el CO es un contaminante que proviene, principalmente, de la combustión incompleta de cualquier tipo de combustible. También es producido en grandes

cantidades por muchas fuentes naturales como lo son los gases volcánicos, los incendios forestales y la oxidación del metano ambiental, entre otras. Los vehículos con motores de combustión interna son una de las principales fuentes de emisión de monóxido de carbono en las zonas urbanas. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua, estufas y otros aparatos domésticos que queman combustible también son fuentes importantes de CO tanto al aire libre como en ambientes interiores.

Para conocer más acerca de los óxidos de carbono visita los siguientes sitios:

<http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/co-monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>

<http://www.prtr-es.es/castellano/documentos/co2-dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>

http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/co/s_co_index.html

Ruido

El sonido representa la propagación de ondas de presión audibles a través de un medio elástico. El ruido es un sonido indeseable, cuya intensidad, frecuencia y duración constituyen una molestia para las personas afectadas. El oído humano transforma estas ondas de presión en señal acústica con un umbral mínimo del orden de 20 μPa (micropascales). El nivel de presión sonora – NPS - se define en términos del número de decibelios de presión acústica – P - en relación a una presión de referencia - P_0 -, generalmente de 20 μPa , usando la Ecuación 20.

$$\text{Ecuación 20.} \quad NPS = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Los valores de NPS se encuentran entre 10 y 140 dB. El umbral del dolor corresponde a 140 dB, que corresponde por ejemplo al sonido de un motor a propulsión ubicado a una distancia de 25 m. Los camiones y otras maquinarias pesadas generan NPS del orden de 90 a 110 dB, mientras que una biblioteca típica presenta 40 dB (Zaror, 2000).

La propagación del sonido en el aire depende del tipo de fuente sonora, del medio donde se propaga y de las condiciones atmosféricas entre las que se encuentran la dirección del viento, la presión y la temperatura.

Radiaciones ionizantes y no ionizantes

Las radiaciones ionizantes incluyen los rayos X, las partículas α y β , y los rayos γ . Estas radiaciones tienen serios efectos para la salud de las personas, debido a su poder para

ionizar la materia que encuentra a su paso. Aún cuando existen fuentes de radiactividad naturales, las principales emisiones provienen de fuentes antropogénicas debido al uso y procesamiento de materiales radiactivos. Las centrales nucleares y las fábricas de material bélico son los principales usuarios de materiales radiactivos. Sin embargo, los usos difusos, tales como en medicina, instrumentos de laboratorio y análisis químicos son los principales responsables de emisiones no controladas de radiaciones ionizantes (Zaror, 2000).

Las radiaciones no ionizantes incluyen aquellas generadas por líneas de transporte eléctrico, transformadores, antenas emisoras de telefonía, radio y televisión, radares, aparatos eléctricos, teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, electrodomésticos, etcétera; dichas radiaciones dan lugar a lo que se denomina contaminación por campos electromagnéticos, tema que se abordará en la lección 15.

Para conocer más acerca de las radiaciones ionizantes y no ionizantes visita el siguiente sitio:

<http://www.epa.gov/radiation/understand/index.html>

Compuestos organoclorados

Existen varios compuestos de este tipo que se emiten a la atmósfera en diferentes actividades. Se pueden citar a los bifenilos policlorados – PCB – que son un grupo de compuestos cuya fórmula general es $C_{12}H_{10} - xCl_x$, con diferentes niveles de sustitución. A pesar de que su estado normal es líquido se pueden encontrar presentes en los humos derivados de la combustión incompleta de polímeros clorados. Son muy tóxicos y de baja biodegradabilidad por lo que persisten en el ambiente por largo tiempo. Debido a su alta constante dieléctrica y baja presión de vapor se utilizan industrialmente como aislantes en condensadores eléctricos y transformadores (Zaror, 2000).

Otros compuestos organoclorados de gran importancia, dado a su altísimo potencial tóxico, son las dioxinas y furanos. Constituyen una familia de compuestos aromáticos clorados tricíclicos. Las dioxinas presentan dos átomos de oxígeno en su molécula mientras los furanos solo presentan uno. Se conocen un total de 75 isómeros de dioxinas llamadas genéricamente policlorodibenzo-para-dioxinas - PCDD, y 135 isómeros de furanos llamados policlorodibenzofuranos - PCDF. Estos compuestos presentan una muy baja solubilidad en agua, la cual es menor a 0,12 ppb, y tienen una bajísima presión de vapor por lo que son poco volátiles. Son químicamente estables a temperaturas menores de 850°C y se descomponen con facilidad por acción de la luz en presencia de hidrógeno. Su gran estabilidad les permite resistir los ataques químicos y biológicos existentes en el suelo y en el agua, por lo que son altamente persistentes y bioacumulables. Su emisión a la atmósfera proviene de la combustión incompleta de compuestos orgánicos clorados

como los plásticos clorados y la lignina clorada. También se generan en la reacción del Cl_2 y los compuestos fenólicos.

Metales pesados

Los metales pesados se encuentran en la atmósfera como material particulado. Algunos metales y sus compuestos, tales como el mercurio y el tetraetilo de plomo, poseen una alta presión de vapor por lo que pueden presentarse en estado gaseoso. En este grupo de contaminantes se incluyen además los siguientes metales: cadmio, cromo, cobre, zinc y arsénico. En general, son persistentes y bioacumulables en los seres vivos (Zaror, 2000).

Asbestos

El asbesto es otro contaminante atmosférico importante. Asbesto es el nombre general de un grupo de minerales fibrosos, todos los cuales son básicamente silicatos hidratados. Estos varían en el contenido metálico, en la resistencia al calor y en otras propiedades. Estas variaciones determinan los usos industriales de los diferentes tipos de asbesto e influyen en sus efectos biológicos. Una exposición crónica durante varios años produce una enfermedad caracterizada por dificultades severas al respirar conocida como asbestosis. Partes de las fibras inhaladas se fijan firmemente en el tejido pulmonar; la reacción natural del organismo consiste en cubrir estas fibras formando cuerpos asbestosos. La inhalación excesiva de las fibras produce una formación progresiva de tejido fibroso que eventualmente cubre gran parte de los pulmones (Zaror, 2000).

La principal causa de muerte entre trabajadores de la industria del asbesto es el cáncer pulmonar. Se debe tener en consideración que el asbesto-cemento es muy utilizado en la construcción de viviendas. En la actualidad, se sabe que una exposición moderada a polvos de asbesto-cemento aumenta el riesgo de cáncer al pulmón en 10 veces, comparado con la población general. En personas fumadoras el riesgo aumenta en 90 veces.

Metano

El metano - CH_4 - se encuentra presente naturalmente en la atmósfera y se genera a partir de los procesos biológicos anaeróbicos como los llevados a cabo en los sedimentos de los cuerpos de agua superficiales, pantanos, en los intestinos de los rumiantes y en otros medios anóxicos. Los sitios de disposición final de residuos biodegradables emiten metano generado por la acción de bacterias anaeróbicas. El metano se oxida en la atmósfera a CO_2 (Zaror, 2000).

Unidades de concentración de contaminantes atmosféricos

Es común expresar la cantidad de un contaminante gaseoso presente en el aire como partes por millón; una parte por millón es equivalente a 0.0001 % en volumen, lo anterior se representa en la Ecuación 21.

Ecuación 21.

$$1\text{ppm} = \frac{1 \text{ volumen de contaminante}}{10^6 \text{ volúmenes de contaminante mas aire}}$$

La masa de un contaminante se expresa como microgramos de contaminante por metro cúbico de aire. La fórmula se presenta en la Ecuación 22.

Ecuación 22.

$$\frac{\mu}{m^3} = \frac{\text{microgramo}}{\text{metro}_\text{cúbico}}$$

A 25 °C de temperatura y 1 atmósfera de presión, la relación entre las partes por millón y los microgramos por metro cúbico está definida por la Ecuación 23.

Ecuación 23.

$$\frac{\mu}{m^3} = 40.82 \times (\text{ppm} \times \text{peso}_\text{molecular})$$

Lección 5. Contaminantes primarios y secundarios, criterio y no criterio.

Contaminantes primarios y secundarios

La gran variedad de contaminantes atmosféricos hace prácticamente imposible es estudio individualizado de todos y cada uno de ellos. Por tal motivo, se hace necesario clasificarlos. Una primera clasificación distingue entre Contaminantes primarios y Contaminantes secundarios.

Los contaminantes primarios son las sustancias emitidas directamente a la atmósfera desde las fuentes, ya sean naturales o antropogénicas. Su naturaleza y composición, como se ha indicado, son muy variadas, si bien pueden agruparse por su estado físico, como serían partículas sólidas y líquidas o sustancias gaseosas, o pueden agruparse porque comparten un mismo elemento químico, como óxidos de azufre o fluorocarbonados. Los contaminantes secundarios no se emiten directamente a la atmósfera desde focos emisores, sino que se forman en el seno de la mista a través de los procesos químicos y/o fotoquímicos que sufren los contaminantes primarios, y en varios casos son los causantes directos de los problemas de contaminación más acuciantes, como es el caso del ozono

troposférico. Los principales contaminantes atmosféricos primarios, derivados de la actividad humana, incluyen: partículas atmosféricas, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno, compuestos orgánicos, compuestos metálicos, ruido y radiaciones ionizantes. Entre los contaminantes secundarios destacan aquellos generados por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. La contaminación fotoquímica es el producto de una serie de reacciones químicas complejas entre diversos constituyentes descargados a la atmósfera urbana. Cuando estos reaccionan bajo condiciones de luz solar brillante generan una mezcla de contaminantes agresivos denominada smog fotoquímico. En la Tabla 2 se presentan cuatro de los grandes problemas derivados de la contaminación ambiental y los contaminantes primarios asociados a ellos.

Tabla 2. Contaminantes atmosféricos primarios asociados a grandes problemas medioambientales

CONTAMINANTE	PROBLEMA AMBIENTAL			
	ACIDIFICACIÓN	INTOXICACIÓN	OZONO TROPOSFÉRICO	CAMBIO CLIMÁTICO
SO ₂	X	X		X
CO			X	
NO _x	X	X	X	
NH ₃	X			X
COV no metano		X	X	
MP < 10 µm		X		X
CO ₂				X
CH ₄			X	X
N ₂ O				X
HFC, PFC				X
SF ₆				X
Metales pesado		X		
COP		X		

Fuente: (Figueroa, 2004)

La acidificación, intoxicación y ozono troposférico, que se presentan frecuentemente juntos, son problemas de contaminación atmosférica, que se presentan tanto a escala local como regional y/o transnacional, provocados por la presencia de contaminantes específicos y/o de los secundarios derivados de ellos.

Contaminantes criterio y no criterio

El dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el material particulado menor a 10 µm, los óxidos de nitrógeno y el ozono son contaminantes que se consideran para definir la

calidad del aire. Se les denomina contaminantes criterio en función de que permiten establecer un criterio que sirve de base para definir una norma sobre su concentración.

Otro motivo por el que se les denomina contaminantes criterio es porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos criterio de calidad del aire en los Estados Unidos, con el objetivo de establecer para los contaminantes niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente, el término contaminante criterio ha sido adoptado en muchos países (Sbarato, 2007).

La principal diferencia entre los contaminantes criterio y no criterio es que los primeros han sido estudiados extensivamente y existe amplia información sobre sus fuentes de emisión, niveles en el ambiente e impactos en la salud mientras que los no criterio han comenzado a ser estudiados más recientemente y no cuenta con información tan amplia. Además, los contaminantes criterio han sido utilizados como indicadores durante varias décadas estimando que, de estar éstos dentro de valores aceptables, el resto de los contaminantes no debería aparecer en exceso. Sin embargo, en la actualidad no es totalmente aceptada esta premisa ya que existen procesos químicos que liberan contaminantes peligrosos sin emitir ninguno de los criterio (Sbarato, 2007).

Los contaminantes no criterio en pequeñas concentraciones en la atmosfera son tóxicos, pueden causar cáncer entre otros impactos específicos agudos y crónicos en la salud. Entre los contaminantes atmosféricos no criterio se pueden citar los compuestos orgánicos volátiles y los hidrocarburos aromáticos policíclicos.

La lista completa de los contaminantes atmosféricos tóxicos según la EPA puede ser consultada en <http://www.epa.gov/ttn/atw/orig189.html>

Hacen parte de las normas correspondientes a la calidad del aire los niveles máximos permitidos de cada uno de los contaminantes criterio dentro de un tiempo límite. Cada país, de acuerdo con sus criterios de evaluación y legislación establece sus normas. Para informar a la población acerca del cumplimiento de las normas de calidad del aire en las áreas urbanas, se utilizan índices de calidad del aire. Cumplir la norma implica que con un amplio margen de seguridad se protege la salud, es especial de las personas más sensibles de la población, como los niños, las personas de la tercera edad, las mujeres embarazadas o los sujetos con antecedentes de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Un índice es un número entero, fácil de recordar, que a través de una función matemática se relaciona con el valor real de la concentración del contaminante.

En Colombia la Resolución 610 de 2010 del MAVDT establece los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio; dichos niveles se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio en Colombia

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	Anual
		100	24 horas
PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	25	Anual
		50	24 horas
SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	Anual
		250	24 horas
		750	3 horas
NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		150	24 horas
		200	1 hora
O ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	8 horas
		120	1 hora
CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	8 horas
		40	1 hora

Fuente: (MAVDT, 2010)

CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA II

Lección 6. Orígenes de los contaminantes atmosféricos

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. A continuación se presenta una descripción de los procesos naturales y antropogénicos que dan origen a los contaminantes atmosféricos.

Orígenes naturales

Existen dos orígenes naturales de contaminantes atmosféricos: los orígenes biogénicos, es decir aquellos relacionados con los seres vivos, y los geogénicos, es decir aquellos relacionados con procesos geológicos. Las emisiones de contaminantes naturales varían de un lugar a otro, con las condiciones estacionales, geológicas y meteorológicas y con el tipo de vegetación. Las actividades humanas también pueden contribuir a crear

condiciones que aumentan la proporción de contaminantes de fuentes naturales, por ejemplo al descapotar terrenos y dejarlos en esa condición por periodos prolongados de tiempo.

- ✓ Orígenes geogénicos. Las erupciones volcánicas presentan una fuente natural concentrada y localizada de todo tipo de gases y partículas. Por ejemplo, en Estados Unidos en la erupción del monte Santa Helena, en 1980, expulsó a la atmósfera una cantidad de sólidos estimada en 4 km^3 , equivalente aproximadamente a diez mil millones de toneladas (Henry, 1999).

Para conocer más acerca de la erupción del monte Santa Helena visita esta página:
<http://bioangelferp.wordpress.com/2008/11/20/video-de-la-erupcion-del-monte-santa-elena/>

El polvo y las partículas de arena que se arrastran durante los periodos de mucho viento pueden ser transportadas a grandes distancias y dan origen a concentraciones muy alta de partículas durante periodos breves en regiones remotas. Los incendios forestales son fuente importantes de partículas, CO y CO₂, y los bosques vivos lo son de COV muy reactivos. Esta fuente es tan intensa que es detectable por el olfato y la vista, y las emisiones se producen sobre áreas muy amplias. Muchos piensan que estas emisiones son la causa de la bruma azulosa que se observa en las regiones con bosques muy espesos.

- ✓ Orígenes biogénicos. Las plantas emiten compuestos orgánicos volátiles, entre los que se incluyen compuestos oxigenados, como los aldehídos y cetonas, compuestos cíclicos y lineales generalmente insaturados, siendo el isopreno y terpenos los compuestos predominantes (Instituto Nacional de Ecología, 2004).

La información de las emisiones biogénicas se puede profundizar en la siguiente publicación: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/439.pdf>

Otros orígenes naturales incluyen a las termitas por sus emisiones de CH₄, los relámpagos al estar asociados con la formación de NO_x, los volcanes y la actividad geotérmica que conlleva a emisiones de SO_x.

Orígenes domésticos

En las áreas residenciales las actividades domésticas son la causa principal de la emisión de contaminantes. En la Tabla 4 se presentan algunas actividades y los tipos de contaminantes que emiten (Henry, 1999).

Tabla 4. Actividades domésticas y tipo de contaminantes atmosféricos que emiten.

ACTIVIDAD	CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS
Calentamiento de espacios	CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , hollín, humo
Cocina	Grasas en estado sólido, líquido y gaseoso; partículas y, olores
Limpieza	Vapores de disolventes, polvo, pelusa, propelentes
Jardinería	Plaguicidas, fertilizantes
Pintura	Principalmente vapores de disolventes
Lavado de ropa	Partículas de detergente y jabón, pelusa

Fuente: (Henry, 1999)

Antes de la revolución industrial, el fuego doméstico era la fuente de contaminación más importante en Londres; el problema se amplificaba por el hecho de que las emisiones provenían de chimeneas bajas y los hogares contaban con sistemas de combustión y calefacción notoriamente ineficientes. Los sistemas de combustión domésticos modernos son más eficientes pero predominan las descargas de emisiones a baja altura.

Orígenes comerciales

Un ejemplo claro de las fuentes comerciales de contaminación del aire son las lavanderías en cuyo proceso casi todo el disolvente que se utiliza se evapora y entra a la atmósfera. Las emisiones por lavado en seco van desde 15,9 kg de disolvente perdido por 100 kg de ropa lavada en máquinas lavadoras pequeñas no controladas hasta menos de 10 kg de disolvente perdido por 100 kg de ropa lavada en máquinas industriales grandes. El disolvente que se utiliza en casi todas las máquinas pequeñas de limpieza comercial es el percloroetileno, un hidrocarburo clorado (Henry, 1999).

Otros establecimientos o actividades comerciales que liberan contaminantes en la atmósfera incluyen restaurantes, hoteles, talleres automotrices, escuelas, la imprenta y la aplicación de pintura.

Orígenes industriales

Las fuentes industriales de contaminantes atmosféricos son las más notorias porque en general las emisiones se descargan por una sola chimenea o conducto. Cuando un contaminante industrial específico es la principal sustancia indeseable en una comunidad, su origen se puede hallar con base en el conocimiento de los procesos industrial que se utilizan (Henry, 1999).

Una fuente común de óxidos de nitrógeno son los procesos de combustión; otra fuente de estos contaminantes son las fabricas de fertilizantes nitrogenados y las fabricas de explosivos.

Con respecto a los óxidos de azufre, dependiendo de la concentración de este elemento en cada combustible, también se producen en los procesos de combustión especialmente cuando se usa carbón. El azufre del gas natural normalmente se elimina en el pozo de extracción para que el gas se pueda utilizar en aplicaciones domésticas. Otra fuente de SO_x son los procesos de refinación de minerales sulfurados, las fundidoras no ferrosas y las refinerías de petróleo.

El sulfuro de hidrógeno se emite en grandes cantidades en las fábricas de papel, las plantas de limpieza y procesamiento de gas natural, las refinerías de petróleo, plantas que fabrican fibras sintéticas y plantas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. El H_2S se oxida en cuestión de horas en la atmósfera para forma SO_2 Y H_2O .

Se emite monóxido de carbono en concentraciones altas en la producción de hierro colado y en otros procesos metalúrgicos donde es deseable reducir al mínimo la presencia de oxígeno. Los procesos de combustión también generan CO , en diferentes cantidades dependiendo de la eficiencia del proceso.

Se desprenden grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles de una multitud de procesos industriales que por lo general tiene relación con las industrias del petróleo y del gas natural, o con industrias que utilizan sus productos como la de pinturas. Estos compuestos pueden hallarse en forma de vapor, líquido o partículas, como en el cado de las operaciones de pavimentación con asfalto. También es considerable la cantidad de emisiones de COV en las plantas que fabrican plásticos, la mayor parte de los cuales utiliza derivados de petróleo o de gas natural como productos base, y en las instalaciones de manufactura o procesamiento de caucho o materiales sintéticos.

El material particulado puede ser líquido o sólido. La gente está más consciente de las emisiones de partículas porque son visibles a la vista. La naturaleza química y física de las partículas es muy importante para valorar la trascendencia de las emisiones. Los óxidos metálicos de la aplicación de pintura por aspersión y de las industrias de recubrimientos, así como el polvo de catalizadores de las refinerías, las fibras de asbesto de las industrias de aislantes, la fibras de la industria textil y el polvo metálico de las industrias de procesamiento de metales, entre otros, se catalogan como partículas peligrosas porque son muy tóxicas o carcinógenas y su tamaño puede estar en el intervalo respirable. Las emisiones de material particulado de mayor tamaño son las cenizas de la combustión de carbón, derivados del petróleo y residuos así como el material particulado generado en las canteras, minería y la industria asociadas a ellas.

A continuación se presentan unos ejemplos más específicos de las emisiones generadas por algunas industrias. Los hornos de hierro colado operan con una atmósfera deficiente en oxígeno haciendo reaccionar casi todo el oxígeno del aire que se utiliza con el combustible. La descarga de gas resultante de un cubilete de hierro colado durante el calentamiento contiene aproximadamente 12% de CO_2 , 11% de CO , menos del 1% del O_2 y el resto de N_2 , con porcentajes pequeños de óxidos de azufre y de nitrógeno y COV.

Los molinos de alimentos, granos y cereales generan grandes cantidades de partículas durante el secado, descascarado, desgrane, tamizado, molienda y procesamiento de los granos. Más del 50% de las partículas de estas fuentes tienen tamaños mayores de 250 μm y se recolectan sin dificultad. Las partículas presentes en la atmósfera de los molinos representan un serio peligro de explosión, por lo que en general se mantienen buenas condiciones de orden y limpieza.

Las operaciones de labrado de madera como el corte, el pulido y el limado desprenden partículas grandes, las cuales, aunque estéticamente indeseables, son de tamaño mayor al respirable y se recolectan sin dificultad y con gran eficiencia.

Orígenes relacionados con el transporte

El CO y los COV son productos de una combustión ineficiente, los cuales se eliminarían quemando el combustible hasta CO_2 y H_2O en el motor del vehículo para producir potencia. La mayor parte de las emisiones de COV proceden del tubo de escape. Éstas se controlan utilizando reactores catalíticos e inyectando aire en los puertos de escape del motor para quemar los hidrocarburos que se emiten en esta zona de alta temperatura. Alrededor del 20% de las emisiones de COV no controladas de los motores de automóvil provienen del respiradero del escape de gases de los cilindros y aceite lubricante evaporado, o cárter, y del desfogue del carburador a la atmósfera. Estas emisiones se controlan utilizando un tubo de desfogue del cárter conectado al conducto de toma de aire del motor y una unidad de absorción para las pérdidas por evaporación. A partir de 1985 los sistemas de inyección de combustible comenzaron a tomar el lugar de los carburadores; estos sistemas proporcionan una dosificación más precisa de combustible para los cilindros y una reducción significativa en la emisión de contaminantes. En la actualidad se promueve el uso de combustibles oxigenados o de alto octanaje para reducir las emisiones de COV en el tubo de escape (Henry, 1999).

Durante la combustión en los vehículos se presenta formación de óxidos de nitrógeno y su producción aumenta con gran rapidez con la temperatura de combustión; para disminuir este efecto se cambió el diseño de los motores para bajar la temperatura de los cilindros, principalmente reduciendo la relación de compresión del motor, modificando la sincronización del encendido, introduciendo la recirculación de gases de escape y utilizando una combustión en dos etapas.

Un contaminante atmosférico que causaba gran preocupación y que generaba el sector transporte era el plomo, afortunadamente desde 1990 en Colombia se cuenta con gasolina sin plomo.

Lección 7. Fuentes de contaminantes atmosféricos: fuentes móviles, fijas, puntuales y de área.

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales: fuentes fijas, fuentes móviles, fuentes de área, y fuentes naturales; éstas últimas incluyen las fuentes biogénicas y las geogénicas.

Fuentes Fijas

Son aquellas que operan en un punto fijo, es decir, el foco de emisión no se desplaza en forma autónoma en el tiempo; ejemplo de este tipo de fuentes son las chimeneas industriales y doméstica.

En Colombia la resolución 909 de 2008 define fuente fija como la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aún cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (MAVDT, 2008).

Las fuentes fijas se pueden clasificar, de acuerdo a la envergadura y distribución espacial de las emisiones, en fuentes fijas puntuales y fuentes fijas difusas o dispersas. Las fuentes fijas puntuales se definen como aquellas que emiten contaminantes al aire por ductos o chimeneas y las fuentes fijas difusas son aquellas en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como por ejemplo, en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales (MAVDT, 2008).

Fuentes de área

Las fuentes de área incluyen una o varias actividades distribuidas en un área determinada, cuyas contribuciones particulares, a diferencia de las fuentes puntuales, no pueden identificarse y evaluarse de forma precisa. Las fuentes área son demasiado numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes

puntuales. En un inventario es deseable contar con información detallada sobre cada punto de emisión; sin embargo, no existe manera práctica en que tal información pueda ser recopilada. El tratar a todos los establecimientos como fuentes puntuales puede incrementar la precisión del inventario, pero esto implica el uso de muchos más recursos para la compilación y mantenimiento del inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo es recopilar la información en una base más simple al agregar las fuentes relacionadas dentro de una sola fuente de área (Instituto Nacional de Ecología, 2005).

En forma individual, las actividades que integran una fuente área emiten cantidades relativamente bajas de contaminantes pero colectivamente representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes. Por ejemplo, las estaciones de servicio y los establecimientos de lavado en seco con frecuencia son tratados como fuentes de área. Tales establecimientos, generalmente, no son incluidos en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que sería necesario para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada establecimiento a nivel individual.

Información adicional de fuentes de área puede ser consultada en la publicación: [Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones](#)

En Colombia el Decreto 948 de 1995 define fuente área como una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire. Por otro lado, con el fin de adelantar programas localizados de reducción de la contaminación atmosférica por parte de las autoridades ambientales competentes, el decreto en mención estableció cuatro clases de fuente área:

- ✓ Clase I, Áreas de contaminación alta. Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación o dispersión, excede con una frecuencia igual o superior al 75% de los casos, la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de emisiones que podrán extenderse hasta por diez (10) años.
- ✓ Clase II, Áreas de contaminación media. Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al 50% e inferior al 75% de los casos, la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia, se restringirá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de emisiones que podrán extenderse hasta por cinco (5) años.

- ✓ Clase III, Áreas de contaminación moderada. Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al 25% e inferior al 50% de los casos, la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas de prevención, se controlará el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción que podrán extenderse hasta por tres (3) años.
- ✓ Clase IV, Áreas de contaminación marginal. Aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al 10% e inferior al 25% de los casos, la norma de calidad anual.

Fuentes Móviles

Son las que pueden desplazarse en forma autónoma, emitiendo contaminantes en su trayectoria; ejemplos de este tipo de fuente son los automóviles, trenes, camiones, buses, aviones y barcos, entre otros. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de los contaminantes atmosféricos. La mayor parte de los sistemas de transporte actual, obtienen su energía por medio de la combustión de diversos productos lo que origina diferentes compuestos que son emitidos a la atmósfera. Los motores de combustión interna constituyen una de las principales fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos tales como monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehidos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas en suspensión, plomo y derivados. La proporción en que se emiten estos contaminantes depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de motor, el combustible usado y, el estado de mantenimiento del vehículo.

En Colombia el decreto 948 del 5 de junio de 1995 define las fuentes móviles como la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

Debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen, los vehículos automotores se manejan separadamente de otras fuentes de área. Las emisiones de vehículos automotores están integradas por diversos contaminantes que son generados por diferentes procesos. Los más comúnmente considerados son las emisiones del escape, que resultan del uso del combustible y que son emitidos a través del escape del vehículo, y una variedad de procesos evaporativos, los cuales resultan en emisiones de hidrocarburos, también conocidos como Compuesto orgánicos totales – COT - y que incluyen las siguientes emisiones:

- ✓ Emisiones húmedas calientes: son emisiones que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de dosificación de éste, una vez que se apaga el motor. El combustible del sistema de dosificación se volatiliza por el calor residual del motor.
- ✓ Emisiones evaporativas en circulación: son las emisiones de fugas de combustible en fase líquida o de vapor que se presentan cuando el motor está en operación.
- ✓ Emisiones diurnas: son aquellas emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a altas temperaturas en el líquido y al aumento de la presión de vapor del combustible, las cuales resultan del incremento en las temperaturas ambientales, la aportación de calor del sistema de escape del vehículo o del calor reflejado por el asfalto o superficie de circulación.
- ✓ Emisiones evaporativas en reposo: son emisiones evaporativas distintas de las emisiones húmedas calientes, diurnas y de recarga de combustible, que ocurren debido a la permeabilidad o fugas de los conductos de combustible.
- ✓ Emisiones evaporativas de la recarga de combustible: son las emisiones desplazadas del tanque de combustible durante la recarga del mismo. Si bien el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas se presentan mientras el vehículo está en reposo en las estaciones de servicio. Por lo tanto, las emisiones de recarga son tratadas típicamente como fuente de área (Instituto Nacional de Ecología, 2005).

Para complementar el estudio de las fuentes móviles se puede consultar el sitio:
<http://www.epa.gov/OMSWWW/toxics.htm>

Lección 8. Contaminación del aire en interiores

Las personas permanecen, en promedio, 21 horas del día en lugares cerrados ya sea en sus domicilios, vehículos o lugares de trabajo, entre otros, siendo los niños y ancianos quienes más tiempo pasan en esos lugares. Por otro lado, una persona realiza, aproximadamente, 20000 inspiraciones y espiraciones al día, por lo que la exposición a posibles contaminantes atmosféricos que se hallen en esos espacios interiores es enorme. Lo anterior es un problema que se ha visto agravado por la construcción de edificios diseñados para ser más herméticos y que reciclan el aire con una proporción menor de aire fresco procedente del exterior con el fin de aumentar su rentabilidad energética. Actualmente se acepta de forma general que los edificios que carecen de ventilación

natural presentan riesgo de exposición a contaminantes (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

El término aire interior suele aplicarse a ambientes de interior no industriales: edificios de oficinas, colegios, hospitales, teatros, restaurantes y viviendas particulares, entre otros. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estas estructuras suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente en el aire exterior, y mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial, donde se aplican normas con el fin de evaluar la calidad del aire. La calidad del aire interior comenzó a considerarse un problema a finales del decenio de 1960, aunque los primeros estudios no se llevaron a cabo hasta unos diez años después (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

En los ambientes interiores es común el uso de sustancias químicas entre las que se pueden encontrar productos de limpieza, productos de aseo personal, pinturas, tintas de impresión, combustibles y pegantes, entre muchas otras. La problemática de la contaminación del aire en interiores se incrementa debido a la existencia de contaminantes atmosféricos biogénicos como los son los ácaros presentes en mascotas o textiles, que producen alteraciones estructurales y funcionales en el aparato respiratorio (Rico, 2009).

Los cambios en el estado de salud de una persona debidos a la mala calidad del aire interior pueden manifestarse en diversos síntomas agudos y crónicos así como en forma de diversas enfermedades específicas los cuales se ilustran en la Figura 2. Aunque los casos en que la mala calidad del aire interior da lugar al desarrollo completo de una enfermedad son pocos, puede causar malestar, estrés, absentismo laboral y pérdida de productividad; además, las acusaciones sobre problemas relacionados con los edificios pueden generar rápidamente un conflicto entre los ocupantes, sus empresas y los propietarios de los edificios (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

Un aspecto que debe considerarse como parte de la calidad del aire interior es su olor, ya que éste suele ser un parámetro definitorio. La combinación de un cierto olor con el leve efecto irritante de un compuesto en el aire de un interior puede conducir a definir su calidad como “fresca” y “limpia” o como “viciada” y “contaminada” (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

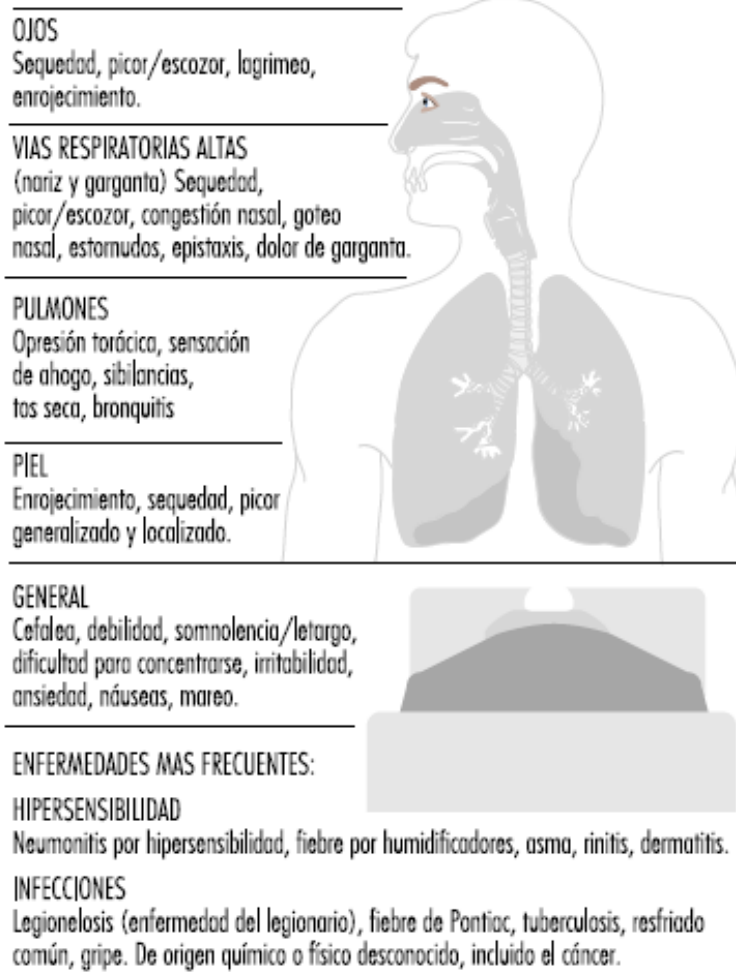
Para profundizar en el tema “Contaminación del aire en interiores” visita los siguientes sitios:

<http://www.epa.gov/iaq/espanol/index.html>

<http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/1000000182.pdf>

http://www.mtin.es/es/publica/pub_electronicas/destacadas/enciclo/general/contenido/tomo2/44.pdf

Figura 2. Síntomas y enfermedades relacionados con la calidad del aire interior



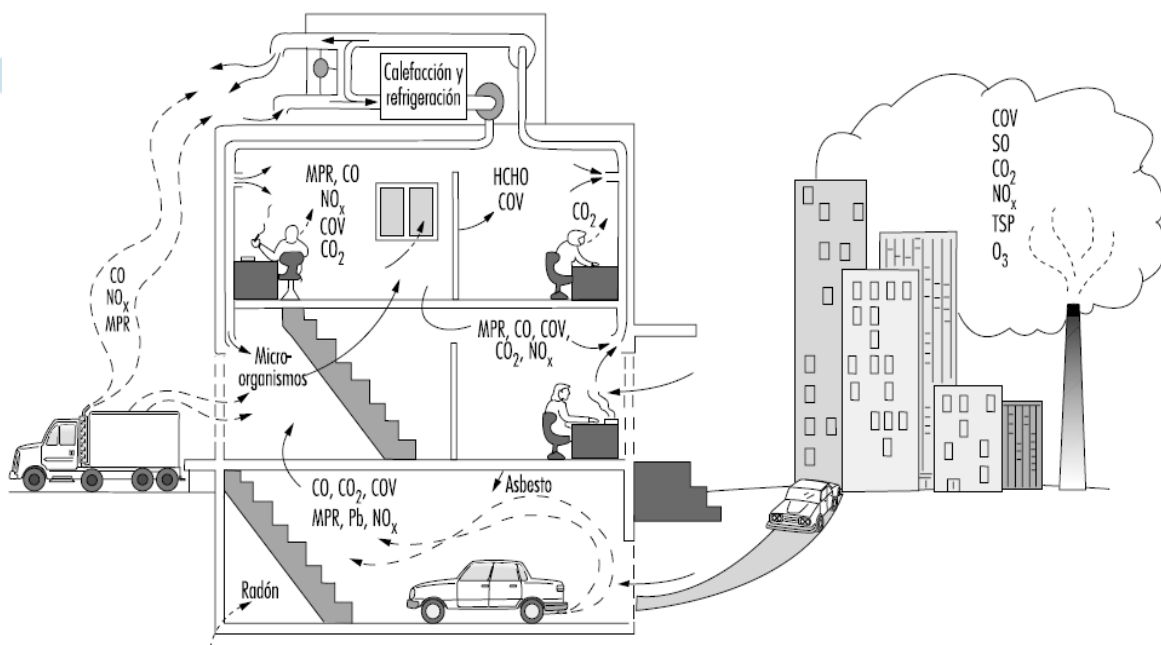
Fuente: (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001)

Cuando más del 20 % de los ocupantes de un edificio se quejan de la calidad del aire o presentan síntomas claros se puede afirmar que existe el fenómeno conocido como síndrome del edificio enfermo. Se manifiesta en diversos problemas físicos y ambientales asociados a interiores no industriales. Los casos de síndrome del edificio enfermo suelen ir acompañados de las características siguientes: las personas afectadas presentan síntomas indeterminados, similares a los del resfriado común o a los de las enfermedades respiratorias; los edificios son eficientes en ahorro de la energía y tienen un diseño y una construcción modernos o han sido remodelados recientemente con materiales nuevos, y los ocupantes no pueden controlar la temperatura, la humedad ni la iluminación de su lugar de trabajo (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

Aspectos del sistema de ventilación

La calidad del aire interior en un edificio depende de una serie de variables, como la calidad del aire del exterior, el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del aire, las condiciones en que opera y se mantiene este sistema, la división en compartimentos del edificio y las fuentes interiores de contaminantes y su magnitud, véase la Figura 3. En suma, puede afirmarse que los defectos más frecuentes son consecuencia de una ventilación inadecuada, de la contaminación generada en el interior y de la procedente del exterior.

Figura 3. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior



CO = monóxido de carbono; CO₂ = dióxido de carbono; HCHO = formaldehído; NO_x = óxidos de nitrógeno; Pb = plomo; MPR = materia particulada respirable; COV = compuestos orgánicos volátiles.

Fuente: (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001)

Origen de los contaminantes del aire en interiores

La contaminación en el interior tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos químicos como plaguicidas y desinfectantes, productos de limpieza y encerado; los gases de combustión procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios; y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia áreas vecinas, afectándolas. En lo que respecta a la contaminación biológica, su origen se debe fundamentalmente a la presencia de agua estancada, de

materiales impregnados con agua, gases, etc., y a un mantenimiento incorrecto de los humidificadores y las torres de refrigeración. Por último, debe considerarse también la contaminación procedente del exterior (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001).

Contaminantes característicos del aire interior

Los contaminantes del aire interior pueden tomar forma de gases, vapores y partículas, y pueden haber penetrado al interior desde el ambiente exterior o bien haberse formado dentro del edificio. A continuación se presentan algunos de los contaminantes químicos principales.

- ✓ Dióxido de carbono: un producto metabólico que se utiliza a menudo como indicador del nivel general de contaminación del aire en relación con la presencia de seres humanos en el interior.
- ✓ Monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre: gases de combustión inorgánicos formados fundamentalmente durante la combustión de combustibles.
- ✓ Ozono: producto de reacciones fotoquímicas en atmósferas contaminadas aunque también puede ser liberado por algunas fuentes de interiores.
- ✓ Compuestos orgánicos que se originan a partir de diversas fuentes interiores y del exterior. En el aire interior hay cientos de compuestos químicos orgánicos, aunque la mayoría están presentes a concentraciones muy bajas.

Para profundizar en el tema “Contaminantes característicos del aire interior” visita los siguientes sitios:

<http://www.epa.gov/iaq/co.html>

<http://www.epa.gov/iaq/espanol/moho.html>

<http://www.epa.gov/iaq/espanol/asma.html>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_607.pdf

<http://www.higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/who-indoor-air-mould.pdf>

<http://www.higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/who-indoor-air-quality.pdf>

Lección 9. Contaminación por olores.

En el tema de calidad del aire ha tomado importancia, durante los últimos años, el concepto de contaminación por olores. Éste, se caracteriza porque involucra no sólo situaciones que efectivamente representan un riesgo y/o daño para la salud de los

individuos, sino también, aquellos casos, en que la presencia del contaminante, genera molestias que menoscaban la calidad de vida de éstos. Las molestias por olor pueden causar efectos tanto físicos como mentales. No se ha podido establecer una relación directa entre el olor de las sustancias y su toxicidad, expresada como efectos patógenos. Sin embargo, se han observado reacciones fisiológicas no toxicológicas causadas por olores actuando sobre el sistema nervioso central o periférico (Lenntech, 2009).

El gusto y el olfato se consideran como sentidos químicos ya que parecen ser reacciones fisiológicas al contacto con ciertas sustancias específicas. En el caso del olfato, algunos individuos tienen la capacidad de detectar cantidades minúsculas de las sustancias, hasta intervalos cercanos a 1 ppm; por otro lado, la gente experimenta reacciones variadas ante un olor dado, lo que es repugnante para uno es aceptable para otro, como queda demostrado por las reacciones variadas de la gente ante los diferentes perfumes usados por hombres y mujeres (Wark, 1990).

Para conocer más acerca de la contaminación por olores visita los siguientes sitios:

<http://www20.gencat.cat/portal/site/dmah/menuitem.8f64ca3109a92b904e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=47190eb3b1a27210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=47190eb3b1a27210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default>
http://www.bcn.cl/bibliodigital/pbcn/estudios/estudios_pdf_estudios/nro02-07.pdf

El sentido del olfato y las teorías de los olores

Para que una sustancia sea olorosa, según la teoría de Moncrieff, debe ser: volátil, de manera que libere moléculas en forma continua para su transporte al aparato olfatorio; capaz de ser absorbida por la superficie sensitiva del epitelio olfatorio; y, que esté ausente comúnmente de la región olfatoria (Wark, 1990).

Se han realizado numerosos esfuerzos para clasificar los olores y de relacionar la composición química y estructura molecular de las sustancias olorosas con sus olores, pero no ha sido posible establecer ninguna relación que sea totalmente satisfactoria. Ha prevalecido el criterio de que el olor no depende de la composición química sino de las diferencias físicas causadas por la distribución de los grupos de compuestos. La dependencia de las características de los olores sobre la configuración molecular es solamente la mitad del proceso; la otra mitad se desarrolla en los receptores y el cerebro de individuo que está oliendo (Wark, 1990).

Para profundizar en el tema “El sentido del olfato” visita los siguientes sitios:

<http://www.elsevier.es/sites/default/files/elsevier/pdf/102/102v55n10a13096888pdf001.pdf>
<http://www.webfisio.es/fisiologia/nervioso/textos/olfato.htm>

Actividades que contaminan odoríficamente

Más allá de que la emisión de olores molestos puede provenir de cualquier actividad por un manejo inadecuado de residuos o sustancias químicas, la emisión de olores molestos está asociada, generalmente, a un determinado grupo de industrias y actividades específicas. Dichas actividades incluyen: el procesamiento, transporte y disposición de sustancias provenientes de actividades ganaderas y tratamiento de sus productos y residuos; plantas de recolección, bombeo, transporte y tratamiento de aguas servidas y sus lodos; plantas de tratamiento y disposición de residuos domiciliarios y manejo y transporte de los mismos; cervecías; producción de pasta de papel; productos químicos; y, industrias de alimentos, entre otras (Canales, Borquez y Vega, 2007). En la Tabla 5 se presenta un listado de sustancias que originan olores frecuentes y sus fuentes generadoras.

Tabla 5. Sustancias que originan olores frecuentes y sus fuentes generadoras

SUSTANCIA	OLOR ORIENTATIVO	ACTIVIDADES GENERADORAS
Sulfuro de hidrógeno	Huevo en descomposición	Papeleras, refinerías, industrias y actividades agrarias, sitios de disposición final de residuos y plantas de tratamiento de aguas residuales - PTAR
Mercaptanos	A zorrillo o mofeta	
Amoniaco	Amoniacal	Refinerías, fábricas de fertilizantes, industrias y actividades agrarias y PTAR
Aminas	A pescado	Industrias agroalimentarias y PTAR
Sulfuros orgánicos	A col en descomposición	Papeleras

Fuente: (Seoáñez, 2002)

En el siguiente enlace se encuentra un listado de sustancias olorosas:
<http://www.lenntech.es/tabla-de-sustancias-olorosas.htm>

Propiedades físicas de las sustancias olorosas

Wark y Warner exponen como propiedades físicas de las sustancias olorosas las siguientes:

- ✓ Presión de vapor. Si se postula que las moléculas o las partículas de las sustancias se han de poner en contacto con los sensores olfatorios a fin de poder ser olorosas, sucederá entonces que aquellas sustancias con presiones de vapor más altas suministrarán un mayor número de moléculas.
- ✓ Solubilidad. Se conoce que algunos de los materiales más altamente olorosos son solubles en agua y en las grasas. Esto es entendible puesto que dichas sustancias son capaces de penetrar el mucus acuoso que rodea a los flagelos y luego a través de los propios flagelos grasosos.
- ✓ Absorción infrarroja. Se tiene alguna evidencia de que las sustancias olorosas absorben la radiación infrarroja. El principio fundamental consiste en que, de la misma manera que las bandas de absorción en el espectro visible determinan el color, las bandas de absorción en el infrarrojo o en el ultravioleta podrían determinar el olor.
- ✓ Irradiación ultravioleta. Se prepararon soluciones de materiales olorosos y se observó que después de la exposición a dicha irradiación mostraban un efecto Tyndall, es decir, un rayo de luz ultravioleta que pasaba por la solución era dispersado por las partículas de soluto y se hacían así opalescentes.
- ✓ Efecto de Raman. El desplazamiento de Raman representa una medida de las vibraciones intramoleculares de una sustancia; como se supone comúnmente que los olores dependen también de las vibraciones intramoleculares, se podría esperar la existencia de una relación entre el desplazamiento Raman y los olores.
- ✓ Adsorción. Como los gases que excitan el olfato son bien absorbidos, por lo general, por el carbón activado y otros agentes de superficie, es probable que la adsorción en el aparato olfatorio preceda a la sensación de olor. La adsorción de las moléculas olorosas sobre superficies sólidas puede tener lugar de tres maneras: a través de la capa de humedad condensada; por adsorción directa sobre la superficie sólida limpia y seca; y, por atracción directa de las partículas cargadas por una superficie con carga eléctrica opuesta.

Dispersión de los olores

Los fenómenos atmosféricos de dispersión son un mecanismo más de la naturaleza para minimizar posibles alteraciones, como es el caso de la presencia de sustancias odoríferas en el aire, que serán diluidas con mayor o menor velocidad a causa de esta dispersión en función de diversos factores. En consecuencia, todo aquello que favorezca la dispersión disminuirá los efectos de los olores en intensidad y en tiempo de acción.

Si los olores se generan en una fuente fija y puntual, se favorece la dispersión elevando la altura del punto de salida de los gases, aumentando la velocidad de salida de estos o aumentando su temperatura. Si la fuente es difusa, el problema se resolverá cambiando procesos y materias primas, o ubicando las instalaciones industriales en un lugar con vientos fuertes a lo largo de todo el año (Seoáñez, 2002).

Lección 10. Contaminación acústica.

Físicamente no hay distinción entre el sonido y el ruido. El sonido es una sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire. El ruido se define a menudo como “sonido indeseado” o “sonido fuerte, desagradable o inesperado”. Como el ruido posee una faceta subjetiva e individual, esto dificulta el establecer estándares y recomendaciones. Cualquier sonido puede llegar a ser desagradable para una persona y con ello clasificable como ruido. Sin embargo, existen ciertos valores los cuales la mayor parte de la población manifestará como molestos y, por ende, que existe contaminación acústica (Martínez, 2004).

Los orígenes del ruido se encuentran sin duda en las actividades humanas y están asociados especialmente con el proceso de urbanización y el desarrollo del transporte y la industria. Aunque fundamentalmente se trata de un problema urbano, puede también ser fuente de molestias en las zonas rurales.

El ruido ambiental, también denominado contaminación acústica ambiental, se define como el ruido emitido por las fuentes ambientales, excluyendo el ruido del puesto de trabajo o laboral. Las principales fuentes del ruido ambiental incluyen todos los medios de transporte, al ruido generado por las industrias, la construcción, el vecindario, entre otras. El ruido del vecindario incluye aquel producido por las instalaciones comerciales como los restaurantes, discotecas, acontecimientos de esparcimiento y diversión. Las fuentes interiores son principalmente sistemas de ventilación, máquinas de oficina, aparatos electrodomésticos y los vecinos.

La acústica ambiental, es decir el estudio de la relación del hombre con el sonido tanto en su entorno natural como el construido, está enfocada, principalmente, en la contaminación acústica y las fuentes de ruido ambiental.

Para conocer más acerca de la contaminación acústica se puede consultar los siguientes sitios:

<http://www.epa.gov/air/noise.html>

<http://sicaweb.cedex.es/docs/leyes/Ley-37-2003-del-ruido.pdf>

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0049:ES:HTML>

Fuentes de ruido ambiental

Tanto el tráfico rodado como ferroviario son considerados fuentes de ruido, que generan una superficie de impacto acústico paralela al recorrido. El ruido emitido está relacionado con las características del tráfico y las propiedades acústicas de la superficie de rodadura y/o a su estructura. El tráfico aéreo se constituye en otra fuente de ruido; esta fuente es de difícil evaluación dado que su impacto depende de la altura a la que vuelan los aviones, de las características de los motores y de la ruta del vuelo.

El tráfico rodado, en vías principales, genera un comportamiento del ruido bastante constante en periodos determinados. Por el contrario, el ruido de ferrocarriles y aviones se caracteriza acústicamente por eventos sonoros de elevados niveles de ruido durante períodos relativamente cortos.

El ruido de las instalaciones industriales, construcciones e instalaciones recreativas fijas se consideran como fuentes puntuales, siendo su forma de radiación circular o de otro tipo que es determinado por las características de las distintas fuentes de ruido que componen dichas instalaciones y la distribución que aquellas presentan en estas últimas. El ruido generado también está asociado con la potencia de las fuentes sonoras y puede tener características más bien constantes durante ciertos periodos o fluctuar considerablemente y aumentar en determinados periodos (Martínez, 2004).

Para complementar la información sobre fuentes de ruido ambiental se puede consultar el siguiente sitio:

<http://publicaccess.supportportal.com/ics/support/kbAnswer.asp?deptID=23012&task=knowledge&questionID=15642>
<http://www.fra.dot.gov/Pages/264.shtml>

Características de la audición

El área de sensación auditiva se limita a niveles bajos de presión sonora con el umbral de la audición y a niveles altos de presión sonora con el umbral del malestar. En términos generales, se habla de una frecuencia máxima de 20.000 Hz y una frecuencia mínima de 20 Hz; sin embargo, varía notablemente de una persona a otra. Se ha encontrado que el nivel mínimo audible, es decir el nivel de presión sonora mínimo que es capaz de escuchar una persona con audición normal, es de 2 a 3 dB; un nivel de 120 dB genera sensaciones de malestar y por encima de 140 dB se alcanza el punto de dolor. Si una persona se expone a un ruido por encima de un determinado nivel crítico y luego se retira, su umbral de audición, o nivel mínimo audible, puede aumentar, es decir, su audición puede

empeorar temporalmente; este desplazamiento dependerá del nivel de ruido y tiempo de exposición de la persona (Acercar, 2004).

Una característica importante de un sonido es su propiedad de interferir o “enmascarar” la audición de otro sonido. El enmascaramiento es el proceso mediante el cual el umbral de audibilidad de un sonido, se eleva en presencia de otro sonido, denominado enmascarador. Se denomina umbral enmascarado al umbral elevado y la medida cuantitativa del enmascaramiento es el número de decibeles en que este umbral se eleva. Se constituye en un problema crucial para la seguridad, ya que el ruido generado en un ambiente de trabajo puede enmascarar el sonido de una señal de alarma, o, en la calle donde el ruido puede enmascarar el sonido de un vehículo que se aproxima (Acercar, 2004).

Emisión de ruido y ruido ambiental en Colombia

En Colombia el Decreto 948 de 1995 establece la siguiente clasificación de zonas de acuerdo con los niveles de ruido ambiental en cada una:

- ✓ Sectores A - tranquilidad y silencio: áreas urbanas donde estén situados hospitales, guarderías, bibliotecas, sanatorios y hogares geriátricos.
- ✓ Sectores B - tranquilidad y ruido moderado: zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, parques en zonas urbanas, escuelas, universidades y colegios.
- ✓ Sectores C - ruido intermedio restringido: zonas con usos permitidos industriales y comerciales, oficinas, uso institucional y otros usos relacionados.
- ✓ Sectores D - zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado: áreas rurales habitadas destinadas a la explotación agropecuaria, o zonas residenciales suburbanas y zonas de recreación y descanso.

Posteriormente, en la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, se establecieron los estándares máximos permisibles de emisión de ruido para cada uno de los sectores; éstos se presentan en la Tabla 6.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la medición de la emisión de ruido son utilizados para la verificación de los niveles de emisión de ruido por parte de las fuentes. Por otro lado, los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental, son utilizados para realizar el diagnóstico del ambiente por ruido; dichos resultados se llevan a mapas de ruido los cuales permiten visualizar la realidad en lo que concierne a ruido ambiental, identificar zonas críticas y posibles contaminadores por emisión de ruido, entre otros. Los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A - dB(A) y estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental

SECTOR	SUBSECTOR	ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES			
		NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO EN dB(A)		NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL EN dB(A)	
		DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
Sectores A - tranquilidad y silencio	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos	55	50	55	45
Sector B - tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes	65	55	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.				
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre				
Sector C - ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de	70	60	70	55

SECTOR	SUBSECTOR	ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES			
		NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO EN dB(A)		NIVELES DE RUIDO AMBIENTAL EN dB(A)	
		DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
	mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.				
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55	65	50
	Zonas con usos institucionales.				
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75	80	70
Sectores D - zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana.	55	50	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.				
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.				

Fuente: (MAVDT, 2006)

CAPITULO 3. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y CONTAMINACIÓN POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Lección 11. Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de la personas.

Los efectos en la salud eran la consideración dominante en los primeros episodios de la contaminación del aire por razones varias. Aunque con frecuencia no se podía identificar el contaminante específico, o grupo de ello, que generaba los efectos observados, se disponía de información suficiente para implicar a ciertos contaminantes como contribuyentes significativos. Las investigaciones iniciales encaminadas a correlacionar las concentraciones y los efectos se enfocaron en estos contaminantes que se podían identificar con claridad.

El incremento exponencial de la producción y uso de químicos ha tenido un impacto profundo sobre el ambiente. La exposición humana a estos químicos está relacionada con el aumento de la incidencia de toda una variedad de eventos patológicos. La contaminación ambiental es un subproducto de la vida contemporánea y es un riesgo para la salud de los individuos expuestos a ella. La incidencia de episodios de contaminación ambiental se ha asociado con una variedad de efectos tóxicos sobre la salud del ser humano (Rico, 2009).

La investigación sobre la contaminación ambiental inició sobre las sospechas clínicas de que el aire contaminado pudiera ser la causa de los síntomas de las vías respiratorias. A pesar del considerable esfuerzo en los últimos años, los efectos a corto y a largo plazo de exposición a la contaminación atmosférica apenas se conocen parcialmente. Hay evidencia de los efectos adversos de dicha contaminación sobre el tracto respiratorio inferior, sin embargo, poco se sabe sobre los efectos a la vía respiratoria superior por la exposición a los niveles moderados y altos de contaminantes (Rico, 2009).

A continuación se presentan una descripción general de los efectos en la salud causados por la exposición a los principales contaminantes atmosféricos.

- ✓ **Material particulado.** La principal preocupación en salud pública por contaminación con material particulado son los efectos en el sistema respiratorio, el incremento de afecciones respiratorias y cardiovasculares la alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños, daños el tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura. Las personas con enfermedad respiratoria y cardiovascular, personas mayores de 60 años y niños menores de 5 años, son considerados los grupos más sensibles de la población a padecer sus efectos.

- ✓ Dióxido de azufre. Los principales efectos en la salud están asociados con irritación de vías respiratorias, complicación de la enfermedad respiratoria para quienes la padecen e incluso la muerte. Las personas con enfermedad respiratoria y cardiovascular, personas mayores de 60 años y niños menores de 5 años, son considerados los grupos más sensibles de la población a padecer sus efectos.
- ✓ Monóxido de carbono. Al ser el monóxido de carbono un gas incoloro, inodoro y no irritante una persona no puede detectarlo sin contar con un equipo de detección. Es un gas común en espacios interiores donde se desarrollan procesos de combustión de baja eficiencia y en los cuales la ventilación es limitada o nula; lo anterior ocasiona que se acumule convirtiéndose en un gas letal. El monóxido de carbono es más afín con la hemoglobina que el oxígeno por lo cual al estar presente en el ambiente inhibe el transporte del oxígeno en el cuerpo. Los síntomas más comunes de envenenamiento por CO son dolor de cabeza, mareos, debilidad, náusea, vómitos, dolor en el pecho y confusión. Es difícil decir si alguien está envenenado con CO, ya que los síntomas pueden parecerse a los de otras enfermedades. Las personas que están dormidas o intoxicadas pueden morir de envenenamiento por CO antes de presentar síntomas. La amenaza para la salud que representa el monóxido de carbono es mayor para quienes padecen afecciones cardiovasculares al reducir el aporte de oxígeno a órganos y tejidos.

Para conocer más acerca de los efectos del monóxido de carbono en la salud humana consulta los siguientes sitios:
[http://www.osha.gov/OshDoc/data General Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf](http://www.osha.gov/OshDoc/data%20General%20Facts/carbonmonoxide-factsheet.pdf)
<http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/monoxido-ex.htm>

- ✓ Óxidos de nitrógeno. El NO es un gas altamente reactivo de color pardo rojizo que desempeña un papel importante en la formación de ozono en la troposfera. El dióxido de nitrógeno irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía, reduce la resistencia a las infecciones respiratorias y desempeña un papel importante en la formación de ozono en la troposfera.

Para conocer más acerca de los efectos del material particulado, los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno en la salud humana consulta la siguiente publicación: [Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre](#)

- ✓ Ozono. Este gas incoloro afecta a niños y adultos sanos además de las personas con problemas en el sistema respiratorio. El ozono reduce la función pulmonar, por lo común en asociación con tos, estornudos, dolor en el pecho y congestión

pulmonar. El ozono es probablemente el componente más importante durante los episodios fotoquímicos que producen daños a la salud. Se han demostrado claramente efectos tóxicos sobre el tracto respiratorio. El ozono es el gas más irritante es el smog fotoquímico y es el gas oxidante más potente de los contaminantes aéreos. La toxicidad el ozono sobre la membrana celular consiste en la oxidación de los aminoácidos y los ácidos grasos insaturados; los peróxidos producidos causarán efectos tóxicos, así como los radicales libres sobre las enzimas, proteínas estructurales, ácidos grasos y otras numerosas moléculas (Rico, 2009).

Para conocer más acerca de los efectos del ozono troposférico en la salud humana consulta la siguiente publicación:

<http://airnow.gov/index.cfm?action=elozone.index>

- ✓ Plomo. La incorporación de plomo por inhalación o ingestión puede proceder de alimentos, agua, suelos o polvo. La exposición a concentraciones altas puede causar ataques, retardo mental y trastornos del comportamiento. Los fetos, los bebés y los niños son especialmente susceptibles a las dosis bajas, las cuales causan trastornos del sistema nervioso central. La incorporación de plomo puede contribuir a los problemas de hipertensión arterial y afecciones cardíacas.

Para complementar la lección “Efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud de la personas” consultar las siguientes páginas:

http://www.scielosp.org/pdf/resp/v73n2/efectos_contam.pdf

<http://guajiros.udea.edu.co/fnsp/cvsp/Efectos%20de%20la%20contaminacion%20atmosferica.pdf>

Lección 12. Efectos de los contaminantes atmosféricos en plantas, animales, materiales y servicios

Efectos en plantas y animales

Los efectos perjudiciales de la contaminación del aire no se limitan a los que tienen que ver con la salud humana. Las plantas y los animales también son susceptibles. Los daños a las plantas causados por los contaminantes atmosféricos ocurren por lo general en la estructura de la hoja, ya que ésta contiene los mecanismos de construcción de toda la

planta. Entre los gases tóxicos a la vegetación, y que se encuentran con mayor frecuencia en la atmósfera, están el dióxido de azufre, fluoruro de hidrógeno, etileno, cloruro de hidrógeno, cloro, sulfuro de hidrógeno y amoníaco.

El flúor tiene efectos fitotoxicológicos y éste es emitido en cantidades significativas a través de elementos tales como aluminio, vidrio, fosfatos, fertilizantes y ciertas operaciones de horneado de arcillas. El daño a los vegetales suele observarse en el fruto o las flores, y en ambos casos reduce de manera significativa el valor del cultivo. El flúor afecta las plantas a concentraciones que tienen órdenes de magnitud bastante inferiores a las que afectan la salud humana.

El dióxido de nitrógeno a una concentración de 0.5 ppm en un periodo de 10 a 12 días ha detenido el crecimiento de plantas tales como el frijol pinto y el tomate. Experimentos con naranjas sin semilla muestran que se reduce el rendimiento ante una prolongada exposición a concentraciones, de dicho compuesto, entre 0.25 a 1.0 ppm (Wark, 1990).

Se han evidenciado daños en la vegetación a una concentración de 0.03 ppm de ozono durante una exposición de 8 horas así como a una concentración de 0.05 ppm de oxidantes fotoquímicos durante exposiciones de 4 horas (Wark, 1990).

Entre los hidrocarburos, se ha encontrado que el etileno causa daños a las plantas a niveles ambientales conocidos. Las concentraciones de etileno de 0.001 a 0.005 ppm han causado daños a plantas sensibles. Los efectos del etileno incluyen la caída de las flores y alteraciones en la abertura apropiada de la hoja. Se han establecido daños a las orquídeas y el algodón. Se ha reportado como pauta umbral del daño de 0.005 ppm para una exposición de 6 horas (Wark, 1990).

Para complementar la información de los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre las plantas y animales consultar las siguientes páginas:

http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/lluvia_acida.htm

<http://www.fao.org/docrep/q2570S/q2570s01.htm>

Efectos en materiales y servicios

Uno de los efectos locales más evidentes del material particulado en la atmósfera es una reducción de la visibilidad. Hace sólo unas cuantas décadas era claramente visible la suciedad causada por el hollín y el humo en casi todos los centros urbanos. Un ejemplo de un costo oculto de la contaminación del aire es que las partículas de hollín ensucian las superficies.

Los óxidos de azufre y de nitrógeno reaccionan en la atmósfera para formar compuestos ácidos que atacan superficies metálicas, un problema en especial para las industrias de comunicaciones y, dispositivos de control. El dióxido de nitrógeno absorbe luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad.

El ácido sulfhídrico presente en la atmósfera reacciona con el óxido de plomo de la pintura blanca para formar sulfuro de plomo, por lo cual se han observado casas pintadas de blanco que adquieren un tinte pardo de un día para otro.

Las partículas que contienen sustancias químicas conductoras se depositan en el material aislante de los postes y producen fugas de corriente en cables eléctricos de alto voltaje.

Los agentes fotoquímicos, como el ozono y el nitrato de de peroxiacetilo – NPA, forman aerosoles en la reacción de generación del smog, dichos aerosoles causan una notable reducción de la visibilidad y dan a la atmósfera un matiz parduzco. El ozono ataca al hule sintético con lo que reduce la vida útil de llantas, el aislamiento de hule y, en general, de los materiales sintéticos. Otros materiales atacados por el ozono son la celulosa de los textiles, reduciendo la resistencia de dichos artículos. En general, todos los oxidantes decoloran las telas.

Para complementar la información de los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre materiales y servicios consultar las siguientes páginas:

<http://www.epa.gov/acidrain/spanish/effects/materials.html>

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/234/cap2.html>

Lección 13. Efectos globales de los contaminantes atmosféricos.

Efecto Invernadero

La Tierra se asemeja a un enorme invernadero, el cual usa una fibra transparente para mantener el calor en su interior. La atmósfera atrapa el calor que irradian los rayos del sol sobre la superficie de la tierra de la misma forma en la que la fibra de un invernadero lo hace; este efecto invernadero mantiene la tierra caliente usando en vez de una fibra de vidrio, los gases efecto invernadero, sin estos gases, el calor del sol escaparía y la temperatura promedio de la tierra disminuiría de 15 °C a 18 °C (PNUMA, 2007).

Gracias al efecto invernadero, la tierra tiene la temperatura adecuada para permitir la supervivencia de humanos, animales y plantas. Pero en la actualidad el planeta está presentando problemas para mantener este balance, dado que el hombre al usar

combustibles fósiles para calentar sus hogares, poner a funcionar sus carros, producir electricidad, cultivar alimentos y para los procesos de manufactura de todo tipo de bienes, añade una proporción extra de gases efecto invernadero a la atmósfera. Estas actividades están concentrando una capa de gases demasiado densa en la atmósfera que no permiten que la cantidad adecuada de calor producida por el sol salga, y se concentre todo el calor en la tierra. El incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera genera un desequilibrio en el balance térmico del planeta, que se traduce en un aumento de su temperatura (PNUMA, 2007).

Para profundizar en el tema “Efecto invernadero” visita los siguientes sitios:

<http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1318>

<http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=135&conID=252>

<http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghousedefault.shtml>

<http://www.youtube.com/watch?v=QD-18YqEPVM>

Algunos gases, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y el Ozono son los principales gases efecto invernadero – GEI - que están en la atmósfera. También hay en la atmósfera GEI totalmente producidos por los humanos, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromo, y otros gases como el hexafluoruro de azufre, los hidrofluorocarbonos, y los perfluorocarbonos.

Cambio climático

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático – CMNUCC - el cambio climático se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático – IPCC - define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

Desde el punto de vista meteorológico, se llama Cambio Climático, a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la tierra, los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático (IDEAM, 2007).

Procesos internos del sistema climático también pueden producir cambios de suficiente magnitud y variabilidad a través de interacciones entre sus elementos. El clima de la tierra depende del equilibrio radiativo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la cantidad

de la radiación solar que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero natural. Estos agentes de forzamiento radiativo varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta (IDEAM, 2007).

Para profundizar en el tema “Cambio climático” visita los siguientes sitios:

<http://www.cambioclimatico.gov.co/jsp/loader.jsf?!Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1302>

<http://www.youtube.com/watch?v=Y1AJx1dZGxg&feature=fvsvr>

<http://www.semarnat.gob.mx/educacionambiental/Paginas/videos.aspx>

Deterioro de la capa de ozono

La capa de ozono forma parte de las capas superiores de la atmósfera, en lo que llamamos estratósfera, a unos 25 km de altura. Tiene como función detener el paso de los rayos solares ultravioleta, que causan un efecto nocivo sobre los seres vivos del planeta, ya que su radiación provoca daños sobre las cosechas y puede causar cáncer de piel, cataratas y disfunciones del sistema inmunológico.

En 1974 Sherwood Roland y Mario Molina emitieron la teoría de que los clorofluorocarbonos – CFC- estaban bajando la concentración de ozono en la estratósfera. Al llegar los CFC a la capa de ozono, los rayos ultravioleta descomponen la molécula y dejan libres sus átomos; los átomos de cloro liberados reaccionan enseguida con el ozono, rompiendo las moléculas que lo componen y lo transforman en moléculas y átomos de oxígeno. Con el átomo de oxígeno liberado, se forma monóxido de cloro; a través del tiempo, un sólo átomo de cloro puede convertir en oxígeno hasta 100 mil moléculas de ozono. Otras sustancias que destruyen el ozono son los pesticidas como el bromuro de metilo, el halón usado en los extintores de incendios y el cloroformo de metilo utilizado en procesos industriales.

Para profundizar en el tema “Deterioro de la capa de ozono” visita los siguientes sitios:

<http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=53&conID=721>

<http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=846&conID=3506>

<http://www.unep.ch/ozone/spanish/index.shtml>

<http://www.epa.gov/ozone/strathome.html>

<http://aupec.univalle.edu.co/informes/marzo98/ozono.html>

Lección 14. Efectos a la salud y al ambiente de la contaminación acústica.

Efectos a la salud

El ruido es un agente que puede dar lugar a efectos tanto sobre el receptor del sonido, es decir efectos auditivos, como de tipo fisiológico y comportamental, conocidos como efectos extrauditivos. En la Tabla 7 se muestran, de forma esquemática, aquellos efectos para los que se dispone de evidencia y, si están disponibles, los niveles de ruido mínimo para los que han sido observados.

Tabla 7. Efectos del ruido sobre la salud

EFECTO			NIVEL DE PRESIÓN SONORA dB(A)
Evidencia suficiente	Malestar	Ambiente de oficina	55
		Ambiente industrial	85
	Hipertensión		55-116
	Disminución de la capacidad auditiva	Adultos	75
		Fetos	85
Evidencia limitada	Disminución del rendimiento		-
	Efectos bioquímicos		-
	Efectos sobre el sistema inmunitario		-
	Influencia en la calidad el sueño		-
	Disminución del peso al nacer		-

Fuente: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006)

El impacto del ruido sobre la función auditiva es el efecto mejor documentado. El ruido presente en el entorno tanto laboral como extralaboral puede dar lugar a alteraciones auditivas temporales, como fatiga auditiva, o permanentes, como la hipoacusia o sordera. Esas lesiones dependen, entre otros, de los factores listados a continuación (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006):

- ✓ Calidad de dicho ruido. A igual intensidad son más nocivas las frecuencias agudas.
- ✓ Espectro de frecuencias. Un sonido puro de alta intensidad produce más daño que un sonido de amplio espectro.
- ✓ Intensidad, emergencia y ritmo. Mayor capacidad lesiva del ruido de impulso, de carácter imprevisto y brusco.
- ✓ Duración de la exposición. Exposición laboral y extralaboral.
- ✓ Vulnerabilidad individual. Ligada a una mayor susceptibilidad coclear por antecedentes de traumatismo craneal, infecciones óticas, ciertas alteraciones metabólicas o una tensión arterial elevada, entre otras causas.

- ✓ Interacción con otras exposiciones. Vibraciones, agentes químicos o fármacos ototóxicos pueden aumentar el riesgo de hipoacusia.

Para consultar más información relacionada con los efectos de la contaminación acústica visitar el siguiente sitio:

<http://www.nonoise.org/library/handbook/handbook.htm>

<http://www.nonoise.org/library/suter/suter.htm>

Los principales efectos del ruido sobre la audición se pueden agrupar así (Acercar, 2004):

- ✓ Trauma acústico. Se refiere al daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora; se restringe a los efectos de una exposición única o relativamente pocas exposiciones a niveles muy altos de presión sonora. El ruido extremadamente intenso que llega a las estructuras del oído interno puede sobrepasar los límites fisiológicos de éstas, produciendo la rotura completa y alteración del órgano de Corti. Por ejemplo, una explosión puede romper el tímpano, dañar la cadena de huesecillos y destruir las células sensoriales auditivas.
- ✓ Desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido. Este desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido tiene como resultado una elevación de los niveles auditivos, equivalente a una pérdida de la sensibilidad auditiva, después de la exposición al ruido; en este tipo de desplazamiento, la pérdida de audición es reversible.
- ✓ Desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido. En este tipo de desplazamiento, la pérdida de audición no es reversible, permanece durante toda la vida de la persona afectada, no existe la posibilidad de recuperación. Puede ser el resultado de un trauma acústico o del efecto acumulativo de las exposiciones repetidas al ruido durante sucesivos períodos en muchos años.

Efectos biológicos extrauditivos

Los efectos del ruido no se limitan al oído. El organismo responde a los estímulos acústicos como lo haría ante cualquier otra agresión ya sea de tipo físico o psíquico mediante modificaciones cardiovasculares, hormonales, digestivas o psíquicas. Los efectos fisiológicos del ruido que se pueden observar son (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006):

- ✓ A nivel motor: con contracciones musculares.
- ✓ A nivel vegetativo: con el aumento transitorio de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción periférica, aumento de la presión sanguínea, aceleración de los movimientos respiratorios, disminución de la función de las glándulas salivares y del tránsito intestinal y, midriasis, entre otros.

- ✓ A nivel endocrino: con el aumento de las catecolaminas y del cortisol, entre otros.
- ✓ A nivel inmunitario: disminución de la capacidad inmunitaria ligada a las alteraciones endocrinas.

Malestar

El ruido puede dar lugar también a efectos subjetivos, lo que la OMS ha calificado de malestar. El ruido puede producir una sensación de desagrado o disgusto en un individuo o en un grupo que conocen o imaginan la capacidad del mismo para afectar su salud. Esta sensación es a menudo la expresión de las interferencias con la actividad en curso aunque no de forma exclusiva ya que puede ser modulada también por variables como el sexo, la edad, el nivel formativo, las condiciones de trabajo y las características de la exposición (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006).

Alteraciones en el comportamiento

La forma en que las personas reaccionan a la pérdida de capacidad auditiva varía enormemente. En las disminuciones lentas y progresivas, como es el caso de las lesiones auditivas inducidas por el ruido, lo más frecuente es que el trabajador o trabajadora evite el contacto social y pierda interés por su entorno. Algunos estudios ponen de manifiesto una mayor agresividad y un aumento de los conflictos en ambientes ruidosos sobre todo en aquellas personas que presentan problemas psicológicos previos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006).

Trastornos de voz

Uno de los posibles efectos del ruido es la aparición de disfonía en aquellos trabajadores que deben elevar la intensidad de la voz para poder mantener la comunicación verbal con otros. Algunos autores afirman que un ruido ambiental superior a los 66 dB(A) requiere un esfuerzo potencialmente peligroso para las cuerdas vocales (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006).

Otros

El ruido puede aumentar el riesgo de accidente de trabajo al enmascarar las señales de alerta, dificultar la comunicación verbal y alterar la atención. La inteligibilidad de una comunicación entre dos personas situadas en un ambiente en el que el ruido es de 80 dB(A) se dificulta a distancias superiores a 25 cm (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006).

Efectos sociales y económicos del ruido

Los efectos del ruido sobre la salud han convertido inhóspitas muchas ciudades, deteriorando en ellas fuertemente los niveles de comunicación y las pautas de convivencia; en consecuencia, un número creciente de ciudadanos ha fijado su residencia fuera de las áreas urbanas en lugares más sosegados.

En la unión europea se calculó, en el año 2001, que las pérdidas anuales por el ruido ambiental se situaban entre los 13.000 y 38.000 millones de euros; a esas cifras contribuyen, por ejemplo, la reducción del precio de la vivienda, los costes sanitarios, la reducción de las posibilidades de explotación del suelo y el costo de los días de ausencia laboral (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2006).

Efectos del ruido sobre la fauna y flora

Este aspecto ha iniciado su estudio recientemente. Los resultados de las investigaciones disponibles apuntan a efectos negativos sobre la nidificación de las aves y los sistemas de comunicación de los mamíferos marinos. Otras investigaciones se están dirigiendo a estudiar la contribución del ruido al desplazamiento de especies animales de sus hábitats y rutas naturales, así como a la creación de impedimentos a sus costumbres de reproducción y alimentación.

Lección 15. Contaminación por campos electromagnéticos

El medio ambiente natural está siendo afectado por la aparición de campos electromagnéticos artificiales. En los últimos tiempos se ha producido un espectacular aumento del fondo electromagnético, originado por líneas de transporte eléctrico, transformadores, antenas emisoras de telefonía, radio y televisión, radares, aparatos eléctricos, teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, electrodomésticos, etcétera, dando lugar a lo que se puede denominar contaminación por campos electromagnéticos.

La contaminación por campos electromagnéticos – CEM – es un tipo de polución invisible y omnipresente que parece ser la causa oculta de muchas dolencias inexplicables para los médicos, al tratarse de un tipo de contaminación que invade el día y noche del hábitat de las personas, cuyos efectos reales aún no se conocen con certeza al existir numerosos estudios cuyas conclusiones difieren. En general, se entiende que no puede producir daños a la salud dentro de los límites establecidos en la escasa normativa vigente, pero es un tema cuyas investigaciones iniciaron recientemente por lo cual no se conoce los límites reales de inocuidad de este tipo de contaminación (González de Paz, 2001).

Este tipo de contaminación se incluye entre las radiaciones denominadas no ionizantes, aquellas que no alteran los iones en las células frente a las radiaciones ionizantes que producen daños fisiológicos evidentes, y la línea de separación entre éstas y las ionizantes se encuentran en los 12,4 electrón voltios.

Este tipo de contaminación es una materia en la que existe una creciente concienciación ciudadana hasta el punto de que, a nivel mundial, son muchas las quejas y denuncias planteadas ante los distintos organismos oficiales e instituciones públicas, pues se entiende que la acumulación ilimitada de energía radiante en los hogares no puede ser positiva pudiendo llegar a niveles de daño fisiológico evidente (González de Paz, 2001).

En muchos países y ciudades, como por ejemplo España, se han establecido normas que obligan a situar las antenas de telefonía móvil a 100, 200 e incluso 500 m de lugares habitados, con especial hincapié en apartarlas de colegios y residencias geriátricas, pues algunos estudios sugieren que los niños y ancianos podrían ser los más afectados por la exposición continua a la contaminación por campos electromagnéticos.

Hoy en día, todas las poblaciones del mundo están expuestas a CEM en mayor o menor grado, y conforme avance la tecnología el grado de exposición continuará creciendo. Por ello, incluso un pequeño efecto sobre la salud de la exposición a CEM podría producir un gran impacto en la salud pública. Se ha planteado la posibilidad de que la exposición a campos magnéticos de frecuencias de la red eléctrica (50/60 Hz), es decir, de frecuencia extremadamente baja - FEB, podría producir un incremento de la incidencia de cáncer en niños y otros efectos perjudiciales para la salud. Los indicios proceden principalmente de estudios epidemiológicos en zonas residenciales. Estos estudios sugieren que existe una asociación entre la exposición de niños a campos magnéticos FEB y el aumento del riesgo de leucemia (OMS, 2011).

Como parte de su mandato de proteger la salud pública, y en respuesta a la preocupación pública por los efectos sobre la salud de la exposición a CEM, la Organización Mundial de la Salud – OMS - creó en 1996 el Proyecto Internacional CEM para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz. El Proyecto CEM busca fomentar las investigaciones dirigidas a rellenar importantes lagunas de conocimiento y a facilitar el desarrollo de normas aceptables internacionalmente que limiten la exposición a CEM.

Para conocer más acerca del “Proyecto Internacional CEM” visita el siguiente sitio:
http://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/es/index.html

Varios organismos nacionales e internacionales han formulado directrices que establecen límites para la exposición CEM en el trabajo y en los lugares de residencia. Los límites de

exposición a CEM desarrollados por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante - ICNIRP, una organización no gubernamental reconocida de forma oficial por la OMS, se desarrollaron tras evaluar todas las publicaciones científicas revisadas por expertos. Las normas se basan en evaluaciones de los efectos biológicos que, según se ha comprobado, producen consecuencias para la salud. La principal conclusión de las evaluaciones de la OMS es que, al parecer, las exposiciones a niveles de CEM inferiores a los límites recomendados en las directrices internacionales de la ICNIRP no producen ninguna consecuencia conocida sobre la salud.

Para profundizar en el tema “Contaminación por campos electromagnéticos” visita los siguientes sitios:

http://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/es/

<http://www.icnirp.org/>

<http://www.contaminacionelectromagnetica.org/>

Campos electromagnéticos y salud pública

La energía electromagnética es emitida en forma de ondas por las fuentes naturales y por numerosas fuentes artificiales. Esas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se influyen recíprocamente y de diferentes formas con sistemas biológicos tales como células, plantas, animales o seres humanos.

Las radiaciones no ionizantes, aún cuando sean de alta intensidad, no pueden causar ionización en un sistema biológico. Sin embargo, se ha comprobado que esas radiaciones producen otros efectos biológicos, como por ejemplo calentamiento, alteración de las reacciones químicas o inducción de corrientes eléctricas en los tejidos y las células.

Las ondas electromagnéticas pueden producir efectos biológicos que a veces, pero no siempre, resultan perjudiciales para la salud. Es importante comprender la diferencia entre ambos: un efecto biológico se produce cuando la exposición a las ondas electromagnéticas provoca algún cambio fisiológico perceptible o detectable en un sistema biológico y, un efecto perjudicial para la salud tiene lugar cuando el efecto biológico sobrepasa la capacidad normal de compensación del organismo y origina así algún proceso patológico (OMS, 2011).

Para conocer más acerca de tema “Campos electromagnéticos y salud pública” visita el siguiente sitio:

http://www.who.int/docstore/peh-emf/publications/facts_press/fact_spanish.htm

UNIDAD 2	
Nombre de la Unidad	PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS
Capítulo 4	METEOROLOGÍA APLICADA A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
Lección 16	Generalidades del clima
Lección 17	Variables meteorológicas I: características del viento y radiación solar
Lección 18	Variables meteorológicas II: Humedad y precipitación
Lección 19	Estabilidad atmosférica y altura de mezcla
Lección 20	Factores naturales y antropogénicos que influyen en el transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos.
Capítulo 5	MODELOS, PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS, Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES GENERADAS POR FUENTES FIJAS
Lección 21	Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.
Lección 22	Equipos utilizados en la realización de muestreos y en el análisis de laboratorio, para la medición de contaminantes atmosféricos
Lección 23	Conceptos básicos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.
Lección 24	Concepto del Índice de Calidad del Aire (ICA)
Lección 25	Procedimientos para la medición de contaminantes atmosféricos: medición directa, balance de masas, factores de emisión y modelos por computador.
Capítulo 6	ASPECTOS RELACIONADOS CON LA MEDICIÓN DE EMISIONES, MEDICIÓN DE RUIDO, MEDICIÓN DE OLORES Y, LEGISLACIÓN AMBIENTAL.
Lección 26	Procedimientos de evaluación de emisiones utilizados en Colombia
Lección 27	Monitoreo de la contaminación acústica: mapas de ruido, mediciones de ruido y ruido ambiental.
Lección 28	Técnicas y métodos internacionales para la medición de olores.
Lección 29	Legislación ambiental internacional asociada con contaminantes atmosféricos.
Lección 30	Legislación ambiental nacional e internacional asociada a la medición de contaminantes atmosféricos.

UNIDAD 2. PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Como la atmósfera es el medio en el que se liberan los contaminantes, el transporte y la dispersión de estas descargas depende en gran medida de parámetros meteorológicos. Para realizar actividades relativas a la planificación de la calidad del aire es imprescindible comprender la meteorología de la contaminación del aire y su influencia en la dispersión de las sustancias contaminantes. Los planificadores usan este conocimiento para ayudar a localizar las estaciones de monitoreo de contaminación del aire y para desarrollar planes de implementación orientados al cumplimiento de los estándares de calidad del aire en exteriores. La meteorología se usa para predecir el impacto ambiental de una nueva fuente de contaminación del aire y para determinar el efecto de las modificaciones de las fuentes existentes en la calidad del aire. Esta unidad presenta una descripción de los diferentes parámetros meteorológicos que influyen en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos.

La unidad 2, además, contiene una descripción de modelos, procedimientos, métodos, y/o técnicas para la medición de emisiones contaminantes generadas por fuentes fijas. Finalmente, presenta aspectos relacionados con la medición de emisiones, medición de ruido, medición de olores y, legislación ambiental.

CAPITULO 4. METEOROLOGÍA APLICADA A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Lección 16. Generalidades del clima.

El tiempo.

El tiempo es la manifestación de la dinámica de la atmósfera en un lugar y momento determinados. La dinámica de la atmósfera al distribuir la masa, es decir el vapor de agua y otros gases, y la energía, lo que incluye el calor y movimiento, genera variaciones espaciotemporales de elementos como la temperatura, la presión y la humedad, lo cual produce en un lugar y tiempo determinados condiciones cálidas o frías, húmedas o secas, de cielo nublado o de cielo despejado, situaciones de lluvia, etc. Estos fenómenos se conocen como estado del tiempo.

El clima.

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dados, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático: atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera.

Aunque básicamente las variables climáticas se relacionan con la atmósfera, los procesos atmosféricos predominantes en un lugar o región están relacionados con la superficie terrestre, incluidas las cortezas continental y oceánica y parte del manto superior, los océanos, mares interiores, ríos y aguas subterráneas y las zonas terrestres cubiertas por hielo. Así mismo, existe una estrecha relación de dichos procesos con la vegetación y otros sistemas vivos tanto del continente como del océano. Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera, este se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación, denominados elementos climáticos; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático.

A través de la historia, se han presentado fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años a milenios. Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes (MAVDT, 2005).

Factores climáticos.

El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo de la atmósfera, el cual a su vez depende de la cantidad de la radiación solar que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un efecto invernadero, de las nubes y de los aerosoles. Estos agentes de forzamiento radiativo varían tanto de forma natural como por la actividad humana y producen alteraciones en el clima del planeta. Algunos de los gases variables, como el vapor de agua y el CO₂, son relativamente transparentes a la radiación solar en el rango visible, pero absorben bien la radiación de la Tierra. La atmósfera irradia parte de la energía absorbida al espacio y parte la regresa a la superficie de la Tierra. Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministran una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. La energía radiante absorbida es la fuente más grande de energía absorbida por la superficie de la Tierra. Este intercambio de energía entre la atmósfera y la Tierra es conocido como efecto invernadero natural.

La temperatura media global de la atmósfera cerca de la superficie sería de 23 °C por debajo de cero, si no fuera por el efecto invernadero, gracias al cual se tiene una

temperatura media de 15 °C, lo cual hace posible la vida en el planeta. El forzamiento radiativo puede verse alterado por cambios en la concentración de gases de efecto invernadero y por este hecho recibe el nombre de efecto invernadero inducido. Los factores determinantes del clima se refieren a ciertas condiciones, en general físico-geográficas, que relativamente son constantes y no sufren cambios horarios, diurnos o anuales y tienen gran influencia en el clima por el papel que juegan en la transferencia de energía y calor. Entre los factores determinantes se destacan la latitud, la altitud y la distancia al mar.

Debido a las variaciones de la latitud y a las diferencias en la absorción de energía por la superficie terrestre se forman contrastes de temperatura y de presión atmosférica que dan el inicio al movimiento que redistribuye la energía, en forma de calor, y la masa en la atmósfera del planeta. Es así como la radiación solar constituye el empuje inicial de la circulación general de la atmósfera y el factor determinante del clima. Por ello, el clima de la Tierra sufre cambios cuando varía la cantidad de radiación solar que llega al sistema climático o cuando varían las características de reflexión-absorción-emisión de la superficie terrestre (MAVDT, 2005).

Normal y anomalía climática.

En climatología se utilizan los valores promedios para definir y comparar el clima. La normal climática es una medida utilizada con este propósito y representa el valor promedio de una serie continua de observaciones de una variable climatológica, durante un periodo de por lo menos 30 años. Para fines prácticos, se han establecido por acuerdos internacionales periodos de 30 años a partir de 1901. El término anomalía climática es usado para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes, con respecto al valor medio histórico o normal, de la variable climática correspondiente, durante el mismo lapso, en un lugar dado (MAVDT, 2005).

Fluctuaciones climáticas.

El clima varía en las escalas del tiempo y del espacio. Grandes áreas de la Tierra sufren fuertes variaciones como parte normal del clima, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación experimenta cambios significativos. Los extremos climáticos pueden afectar a cualquier región: por ejemplo, severas sequías pueden ocurrir en zonas húmedas e inundaciones ocasionales en regiones secas. Para fines analíticos, las fluctuaciones pueden ser definidas como cambios en la distribución estadística usual utilizada para describir el estado del clima. La estadística climática comúnmente usada se refiere a los valores medios de una variable en el tiempo. Los valores medios pueden experimentar tendencias, saltos bruscos, aumentos o disminuciones en la variabilidad o, aun, una combinación de tendencias y cambios en la variabilidad (MAVDT, 2005).

Cambio climático.

La variación observada en el clima durante periodos consecutivos de varias décadas, es decir, durante periodos relativamente largos, se llama cambio climático. El cambio climático determina diferencias en los valores medios de un elemento climático a lo largo del tiempo; es decir, que cualquier cambio climático significativo puede dar lugar al establecimiento de un nuevo clima normal y por lo tanto, a un ajuste en las actividades humanas. Procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra, los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Aspectos internos del sistema climático también pueden producir fluctuaciones de suficiente magnitud y variabilidad a través de los procesos de retroalimentación de los componentes del sistema climático (MAVDT, 2005).

Factores Locales que influyen en el estado del tiempo y el clima.

El estado del tiempo y las características que identifican el clima, no solo dependen de la circulación atmosférica de gran escala sino que también están condicionados por las particularidades locales, entre las cuales se destacan aquellas que resultan de los efectos asociados con la diferenciación entre el comportamiento físico de las superficies de tierra y agua o de valle y montaña, como también las ocasionadas por las barreras montañosas a la circulación atmosférica o por la modificación del uso del suelo, como sucede con el desarrollo urbano acelerado.

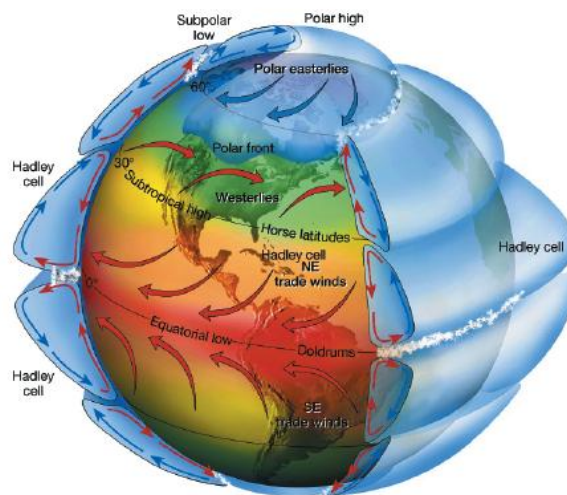
Circulación General de la Atmósfera en Colombia.

La posición estratégica del país en la zona tropical hace que su territorio sea partícipe de las mayores proporciones de energía que el Sol le transfiere a la Tierra. Justamente en los trópicos se absorbe la mayor parte de la energía solar que luego se transfiere a la atmósfera, configurándose de esa forma el motor que determina el desplazamiento del aire entre las latitudes ecuatoriales y polares, mediante una circulación meridional. Cerca de superficie, en la zona tropical se desarrollan vientos provenientes del noreste y del sureste, denominados Alisios, como consecuencia del efecto Coriolis generado por la rotación terrestre en torno al eje que pasa por sus polos. El encuentro de estos vientos cerca al Ecuador obliga al aire cálido ecuatorial a elevarse, ver Figura 4, según la denominada rama ascendente de la Celda de Hadley (MAVDT, 2005).

Este movimiento ascendente provoca un enfriamiento del aire por expansión, condición que favorece la condensación y por ende, el desarrollo de las nubes. En la alta tropósfera, ese aire se aleja del Ecuador bajo la forma de una corriente de retorno hacia los polos y de nuevo la fuerza de Coriolis interviene provocando una desviación de esta corriente. En el

hemisferio norte, la dirección de esa corriente se orienta progresivamente hacia el Noreste; en el hemisferio sur se orienta al Sureste. Una parte de este aire de retorno desciende en los cinturones de altas presiones subtropicales, hacia los 30 grados de latitud, provoca el calentamiento del aire por compresión y reduce el desarrollo de las nubes. En las proximidades de la superficie, los vientos en dichas regiones son generalmente variables y débiles antes de constituirse en vientos alisios que luego alcanzan el Ecuador. De esta manera se forma en cada hemisferio un circuito meridional en el movimiento del aire, a través de una amplia célula convectiva conocida como Celda de Hadley (MAVDT, 2005).

Figura 4. Esquema de la circulación general de la atmósfera: en los trópicos predominan los Alisios



Fuente: (MAVDT, 2005)

Lección 17. Variables meteorológicas I: características del viento y radiación solar

El viento constituye uno de los elementos fundamentales en el campo del conocimiento atmosférico, permite identificar el estado dinámico del aire y se reconoce como el aire en movimiento. Dada su importancia, como medio básico en la producción de energía eólica, resulta de especial interés conocer su origen, propiedades y relaciones físicas, a fin de poder disponer de los elementos de análisis inherentes a su caracterización climatológica regional, local y nacional. Así como también de los principios esenciales en la evaluación del potencial energético del recurso eólico (UPME, 2006).

Los orígenes del viento

El peso del aire encima de un objeto ejerce una fuerza por unidad de área sobre ese objeto y esta fuerza es conocida como la presión. Las variaciones en la presión llevan al desarrollo de los vientos, los cuales a su vez influyen en el estado del tiempo diario. En general, el número de moléculas de aire encima de una superficie cambia con la altura de la superficie. Por ejemplo, hay menos moléculas de aire por encima de una superficie ubicada a 50 kilómetros que las encontradas por encima de una superficie a 12 km. Puesto que el número de moléculas de aire por encima de una superficie disminuye con la altura, del mismo modo la presión disminuye con la altura (UPME, 2006).

La mayor parte de las moléculas de la atmósfera se mantiene cerca de la superficie de la tierra debido a la gravedad. A causa de esto, la presión atmosférica disminuye rápidamente al principio, y luego lentamente en niveles más altos. Puesto que más de la mitad de las moléculas de la atmósfera se localiza debajo de una altitud de 5,5 km, la presión atmosférica disminuye aproximadamente 50% dentro de los 5,5 km más bajos. Encima de 5,5 km la presión continúa disminuyendo pero a una tasa cada vez más lenta.

Un centro de alta presión también es conocido en meteorología como Anticiclón y corresponde al área donde la presión medida es relativamente más alta que en sus alrededores. Eso significa que al alejarse en cualquier dirección de la “Alta” entonces se tendrá como resultado una disminución en la presión. Los vientos fluyen alrededor de un centro de alta presión en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, mientras que en el hemisferio sur los vientos fluyen en el sentido contrario.

El aire que desciende en la vecindad de un centro de alta presión suprime los movimientos hacia arriba que se requieren para sostener el desarrollo de las nubes y la precipitación. De ahí que comúnmente se asocie el tiempo bueno, es decir seco y de cielos despejados, con un área de alta presión.

Un centro de baja presión, también conocido como ciclón, corresponde a un sitio donde la presión que se ha medido resulta ser relativamente la más baja en sus alrededores. Eso significa que al alejarse en cualquier dirección horizontal de la “Baja” se tendrá como resultado un aumento en la presión. Los vientos fluyen alrededor de un centro de alta presión en el sentido contrario de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, mientras que en el hemisferio sur los vientos fluyen en el sentido de las manecillas.

El viento se origina bajo la acción de distintas fuerzas que intervienen sobre la masa de aire. Fundamentalmente se reconocen las fuerzas del gradiente de presión, Coriolis, fricción y centrífuga (UPME, 2006).

- ✓ Fuerza del gradiente de presión. El cambio en la presión medida a través de una distancia dada se llama gradiente de presión. El gradiente de presión tiene como resultado una fuerza neta que se dirige desde las altas hacia las bajas presiones, conocida como la Fuerza del Gradiente de Presión - FGP. La fuerza del gradiente de presión es responsable de provocar el movimiento inicial de aire. En ausencia de otras fuerzas el aire se mueve desde las altas hacia las bajas presiones debido a la Fuerza del Gradiente de Presión.
- ✓ Fuerza de Coriolis. Una vez que el aire se ha puesto en marcha por la fuerza del gradiente de presión, experimenta un desvío aparente de su trayectoria, según es apreciado por un observador en la tierra. Este desvío aparente se conoce como la Fuerza de Coriolis y resulta de la rotación de la Tierra. Cuando el aire se mueve de altas a bajas presiones en el hemisferio norte se desvía a la derecha por la fuerza de Coriolis mientras en el hemisferio sur, el aire que mueve de altas a bajas presiones, se desvía a la izquierda por acción de dicha fuerza. La magnitud de la desviación que sufre el aire está relacionada directamente con la velocidad a la cual se está moviendo y con la latitud a la cual se localiza. Por lo tanto, los vientos que soplan lentamente sólo se desviarán muy poco, mientras que los vientos más fuertes se desviarán más. Igualmente, los vientos cercanos a los polos se desviarán más que aquellos de las mismas velocidades más cercanos al ecuador. Sobre el ecuador propiamente, la fuerza de Coriolis se anula.
- ✓ Fuerza de fricción. Cerca de la superficie los vientos están afectados por la fricción que sucede entre la superficie terrestre y el aire que está en contacto con ella. La superficie de la Tierra ejerce, en cierto grado, un impedimento para el desplazamiento del aire que sopla justo encima de ella, es un obstáculo para su libre movimiento. Esta fricción actúa cambiándole la dirección y/o la intensidad al viento de tal forma que resulta menos afectado a mayores alturas sobre el suelo, donde se encuentra más distante de la fuente que origina la fricción. Realmente, la diferencia en las condiciones del terreno determinan directamente la cuantía de la fricción que se ejerce sobre el movimiento del aire. Así, el viento que pasa sobre una superficie oceánica en calma se desplaza suavemente sin mayor perturbación en su movimiento; por el contrario, las colinas y los bosques hacen que el viento vaya más despacio o con un cambio en su dirección.
- ✓ Fuerza centrífuga. Ésta se manifiesta con una acción de empuje desde el centro de un círculo; la fuerza centrífuga altera el equilibrio de las dos fuerzas originales, del gradiente de presión y de Coriolis, y crea el llamado viento gradiente.

Medición del viento

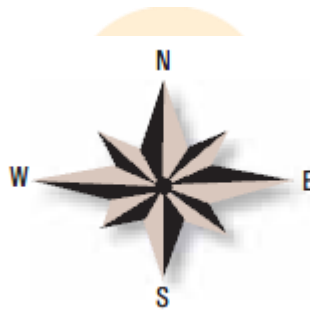
Por definición el viento es el movimiento natural del aire. Se determina por la dirección o punto del horizonte desde donde sopla, y por su velocidad, de la cual depende su mayor o menor fuerza. Si bien el viento es una cantidad vectorial y se puede considerar una variable primaria por naturaleza, por lo general la velocidad, que es la magnitud del vector, y la dirección, que es la orientación del vector, se tratan frecuentemente como variables independientes.

Con el fin de que las observaciones hechas en una red de estaciones puedan ser comparables entre sí se ha convenido internacionalmente que el viento en superficie corresponde al medido a una altura normalizada de 10 m sobre el suelo, en terreno descubierto. El sensor de viento debe instalarse sobre un elemento que no altere las condiciones del entorno, generalmente sobre una torre con estructura que permita un flujo de iguales condiciones físicas a las apreciadas en el entorno.

La velocidad del viento determina el desplazamiento del aire en un tiempo determinado; por otro lado, la dirección del viento se define como la orientación del vector del viento en la horizontal expresada en grados, contados a partir del norte geográfico, en el sentido de las manecillas del reloj. Para propósitos meteorológicos, la dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento. Por ejemplo, un viento del oeste sopla del oeste, 270° a partir del norte; un viento del norte sopla desde una dirección de 360°. Las distintas direcciones del viento están referidas a la rosa de los vientos que señala los puntos cardinales y pueden presentarse en 4, 8, 12 y 16 rumbos. En las estaciones climatológicas se observa la dirección del viento refiriéndola a una rosa de 8 direcciones la cual se representa con la Figura 5.

La velocidad, es decir, la distancia recorrida por una partícula de aire en la unidad de tiempo, se expresa en metros por segundo - m/s - o kilómetros por hora - km/h. En ausencia de instrumentos o cuando el equipo disponible está averiado, la forma más sencilla de estimar la velocidad es observando directamente el efecto del viento en la superficie terrestre. Con este fin se utiliza la escala Beaufort, la cual sirve para evaluar la velocidad del viento con base en las características observadas; en la Tabla 8 se presenta la escala Beaufort para la fuerza del viento, con indicación de las velocidades equivalentes en metros por segundo (UPME, 2006).

Figura 5. Rosa de los vientos



Fuente: (UPME, 2006)

Tabla 8. Escala Beaufort para la fuerza del viento, con indicación de las velocidades equivalentes en metros por segundo

ESCALA	VELOCIDAD PROMEDIO, m/s	CARACTERÍSTICAS
0	0.1	Calma; el humo sube verticalmente.
1	0.9	Ventolina; la dirección se muestra por la dirección del humo. Las veletas no alcanzan a moverse.
2	2.4	Brisa muy débil; se siente el viento en la cara, las hojas de los árboles se mueven; las veletas giran lentamente.
3	4.4	Brisa débil; las hojas y las ramas pequeñas se mueven constantemente; el viento despliega las banderas.
4	6.7	Brisa moderada; se levantan el polvo y los papeles del suelo; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	9.4	Brisa fresca; los árboles pequeños se mueven; se forman olas en las aguas quietas.
6	12.3	Brisa fuerte; se mueven las ramas grandes de los árboles; los paraguas se mantienen con dificultad.
7	15.5	Viento fuerte; los árboles grandes se mueven; se camina con dificultad contra el viento.
8	19.0	Viento duro; se rompen las ramas de los árboles; no se puede caminar en contra del viento.
9	22.6	Viento muy duro; el viento arranca tejados

ESCALA	VELOCIDAD PROMEDIO, m/s	CARACTERÍSTICAS
		y chimeneas; se caen arbustos; ocurren daños fuertes en las plantaciones.
10	26.4	Temporal huracanado; raro en los continentes; arranca los árboles y las viviendas sufren daños muy importantes.
11	30.5	Borrasca.
12	32.7	Huracán.

Fuente: (UPME, 2006)

Hay varios instrumentos para medir y registrar la dirección y velocidad del viento en superficie, en general conocidos como anemómetros y anemógrafos. El instrumento más común para medir la dirección del viento es la Veleta de viento. Este instrumento se fundamentó en las paletas que, expuestas al viento, se orientan según la dirección desde la cual éste sopla (UPME, 2006).

Radiación solar

El sol.

El Sol es la estrella más próxima a la Tierra, se encuentra a una distancia promedio de 150 millones de kilómetros. Es una estrella de mediana edad, ni demasiado grande ni muy brillante. De acuerdo con estudios realizados sobre la evolución de este tipo de estrellas, el Sol permanecerá esencialmente inalterable por varios miles de millones de años; ha cambiado muy poco en los últimos tres mil millones de años y se estima no cambiará mucho en los próximos tres mil millones, razón por la cual puede considerarse como una fuente renovable e inagotable de energía para la Tierra (UPME, 2005).

El Sol es la estrella de la vida, la principal fuente primaria de luz y calor para la Tierra; posee una masa de $1,99 \times 10^{30}$ kg y un radio de aproximadamente 695.000 km. Un análisis de su composición en función de su masa establece que contiene un 71% de hidrógeno, un 27% de helio y un 2% de otros elementos más pesados; en función del número de átomos, se compone de un 91% H, 8,9% He y 0,1% de otros átomos más pesados. Debido a que el Sol es principalmente gas y plasma su rotación cambia con la latitud; posee un periodo de 24 días en el Ecuador y de cerca de 36 días en los polos. La diferencia en la velocidad de rotación, en conjunto con el movimiento de los gases altamente ionizados, genera sus campos magnéticos.

El Sol puede considerarse como un cuerpo negro a una temperatura de 5.762 K. A esta temperatura el Sol emite energía que se propaga por el espacio a la velocidad de la luz y recorre la distancia media Sol-Tierra en 8 minutos 18 segundos. Debido a que la densidad

de partículas en el espacio es muy pequeña, de alrededor de 10^{-8} kg/m^3 , la radiación solar prácticamente no interactúa con la materia en su recorrido hasta la capa exterior de la Tierra. El Sol es muy estable; gracias a ello, la temperatura en la Tierra es relativamente constante, condición que permanecerá inalterable por mucho tiempo respecto de la escala de la vida humana (UPME, 2005).

Radiación solar.

Es la energía emitida por el Sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y partículas. La medición de la radiación solar se realiza en forma instantánea como el cociente entre la cantidad de energía solar incidente en la unidad de área y de tiempo o integrada durante un lapso de tiempo que normalmente es un día. La energía solar es transportada mediante ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda - λ . Al intervalo de radiación electromagnética, cuyas longitudes de onda se encuentran entre 0,290 y 2,5 μm , se le denomina espectro de onda corta. Para diversos propósitos, entre ellos la fotosíntesis, las celdas solares, conservación de la salud o de materiales, etc., es necesario conocer cómo está distribuida la energía de acuerdo con la longitud de onda o la frecuencia, es decir, de acuerdo con su distribución espectral (UPME, 2005).

En el espectro de la radiación solar se reconocen tres regiones:

- ✓ La región del ultravioleta, cuya λ es $< 0,38 \mu\text{m}$.
- ✓ La región visible, cuya longitud de onda es mayor a $0,38 \mu\text{m}$ pero menor a $0,78 \mu\text{m}$; es el intervalo del espectro solar que puede detectar el ojo humano y, dentro del cual están los colores violeta con λ de $0,42 \mu\text{m}$, azul con λ de $0,48 \mu\text{m}$, verde con λ de $0,52 \mu\text{m}$, amarillo con λ de $0,57 \mu\text{m}$, naranja con λ de $0,60 \mu\text{m}$ y rojo con λ de $0,70 \mu\text{m}$.
- ✓ La región del infrarrojo cuya λ es $> 0,78 \mu\text{m}$.

A cada región le corresponde una fracción de la energía total incidente en la parte superior de la atmósfera, distribuida así: 7% al ultravioleta, 47,3% al visible y 45,7% al infrarrojo.

Constante solar - I_0

Es la cantidad de energía proveniente del Sol que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre, a una distancia promedio de $150 \times 10^6 \text{ km}$ del Sol. El valor de la constante solar ha sido objeto de investigación; hoy en día se realizan mejoras en los instrumentos y en las metodologías para su determinación como el valor promedio de numerosas mediciones. El valor que actualmente se utiliza es 1.370 W/m^2 (UPME, 2005).

Atenuación de la radiación solar en la Atmósfera

Del espectro de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra, la radiación de longitud de onda menor que $0,29 \mu\text{m}$ es absorbida por el ozono de la capa superior de la atmósfera. Durante el siglo pasado se comprobaron disminuciones del espesor de esta capa de gas, a lo que se ha llamado “agujero de capa de ozono” en el hemisferio sur. Las regiones de la atmósfera que más absorben este tipo de radiación son en la ionosfera la termosfera y en la homósfera la estratosfera. En la termosfera, la zona de la ionosfera comprendida entre las alturas 200 y 500 km, la presencia de oxígeno atómico y nitrógeno, que absorben radiación en el intervalo del ultravioleta, puede explicar la alta temperatura en esta región de la atmósfera, la cual es aproximadamente 280°C .

A partir de los 50 y hasta los 30 km sobre el nivel del mar se encuentran cantidades apreciables de ozono, principal absorbente de la radiación ultravioleta. Aquí las temperaturas alcanzan valores desde -40 hasta -15°C .

Al continuar disminuyendo la altura, la temperatura se incrementa hasta alcanzar los 0°C y vuelve a disminuir a -50°C a 20 km del suelo. La radiación solar que llega a la superficie terrestre está atenuada en su intensidad por diversos procesos que se producen a lo largo de su recorrido a través de la atmósfera terrestre. Estos procesos son: la absorción selectiva por los gases y por el vapor de agua de la atmósfera; la difusión molecular debida también a los gases y al vapor de agua; y, la difusión y absorción por aerosoles o turbidez (UPME, 2005).

Radiación incidente sobre la superficie terrestre

Es muy grande la cantidad de energía solar que fluye hacia la Tierra y la atmósfera y desde ellas. Una comparación que permite apreciar la cantidad de energía solar que cada año incide sobre la Tierra es que equivale a cerca de 160 veces la energía de las reservas mundiales de energía fósil o que es similar a más de 15.000 veces la energía anual usada de los combustibles fósiles, nucleares y de las plantas hidráulicas.

Una aproximación de la cantidad de energía incidente en la Tierra y de cómo se transforma en la atmósfera y la superficie terrestre se puede establecer de la siguiente manera: de la radiación total incidente, 173.000 terawatios, el 30% es reflejado al espacio exterior. La mayor parte del 70% restante calienta la superficie terrestre, la atmósfera y los océanos (47%) o se absorbe en la evaporación de agua (23%). Relativamente muy poca energía es usada y dirigida al viento y las olas o para ser absorbida por las plantas en la fotosíntesis. En realidad, prácticamente toda la energía es radiada al espacio exterior en forma de radiación infrarroja.

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se clasifica de la siguiente manera (UPME, 2005):

- ✓ Radiación directa – H_b . Es la radiación que llega a la superficie de la Tierra en forma de rayos provenientes del Sol sin cambios de dirección; el flujo de la radiación directa depende de los siguientes factores: constante solar, altura del sol y, transparencia atmosférica en presencia de gases absorbentes, nubes y niebla.
- ✓ Radiación difusa – H_d . Si el flujo de radiación solar encuentra pequeñas partículas en su camino hacia la Tierra, una parte de esta energía es difundida en todas direcciones y se llama radiación difusa. Esta radiación sobre la superficie de la tierra depende de los siguientes aspectos: altura del Sol sobre el horizonte, a mayor altura mayor es el flujo de radiación difusa; a mayor cantidad de partículas, mayor es la componente difusa por consiguiente aumenta con la contaminación; aumenta con la presencia de capas de nubes blancas relativamente delgadas; al aumentar la altura sobre el nivel del mar el aporte de la radiación difusa es menor debido a que disminuye el espesor de las capas difusoras en la atmósfera.
- ✓ Radiación global – H . Toda la radiación que llega a la Tierra, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa, se llama radiación global. Su evaluación se efectúa por el flujo de esta energía por unidad de área y de tiempo sobre la superficie horizontal expuesta al sol y sin ningún tipo de sombra.
- ✓ Albedo. Al llegar a la Tierra, parte de la radiación global es absorbida por las capas superiores del agua o del suelo, transformándose en calor. Otra parte es reflejada. La relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre una superficie horizontal se denomina Albedo de esa superficie, y generalmente se expresa en porcentaje. En general, las superficies oscuras y quebradas reflejan menos que las claras y lisas. Al aumentar la humedad del suelo, este absorbe mayor cantidad de radiación global, lo que influye en el régimen térmico de las superficies regadas.

Lección 18. Variables meteorológicas II: temperatura del aire, humedad y precipitación.

Temperatura del aire.

En términos generales, se sabe que la temperatura es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. En particular, cuando se habla de la temperatura del aire se hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor (IDEAM, 2005).

La temperatura del aire en superficie es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire en una garita, caseta o abrigo meteorológico que permite la existencia de una buena ventilación, y evita los efectos de la radiación solar directa sobre el termómetro, a una altura comprendida entre 1.25 y 2 metros sobre el nivel del suelo. La temperatura media corresponde al promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado, en tanto que las temperaturas extremas corresponden al valor más alto, o máximo, y más bajo, o mínimo, presentados en el transcurso de tal intervalo (IDEAM, 2005).

Variaciones de Temperatura.

El motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima es la energía solar. El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por difusión, reflexión y absorción, la radiación solar alcanza la superficie terrestre, donde es reflejada o absorbida. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera. Algunos de los gases contenidos en la atmósfera, como el vapor de agua y el CO₂, son relativamente transparentes a la radiación solar en el rango visible, pero absorben bien la radiación de onda larga procedente de la Tierra. Los gases y el agua que absorben la radiación de la Tierra también son buenos radiadores de energía (IDEAM, 2005).

La atmósfera irradia parte de la energía absorbida al espacio y otra parte regresa a la superficie de la Tierra. Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son devueltas directamente a la superficie, con lo cual se suministra una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. El intercambio de energía entre la atmósfera y la Tierra es conocido como efecto invernadero natural. La temperatura media global de la atmósfera cerca de la superficie sería de 23 °C por debajo de cero, pero gracias a este efecto invernadero, la temperatura media del planeta es de 15 °C. El clima terrestre depende del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra, donde los gases invernadero desempeñan un rol importante.

La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura. Las variaciones de temperatura y sus causas pueden resumirse así (IDEAM, 2005):

- ✓ Variación diurna: cambio en la temperatura, entre el día y la noche, producido por la rotación de la Tierra.
- ✓ Distribución latitudinal: distribución natural de la temperatura sobre la esfera terrestre, debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud geográfica.
- ✓ Variación estacional: la Tierra gira alrededor del Sol, en su órbita, una vez al año, lo que da lugar a las cuatro estaciones: verano, otoño, invierno y primavera. Por otro lado, el eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto al plano de su órbita, y el ángulo de incidencia de los rayos solares varía, estacionalmente, en forma diferente para ambos hemisferios, siendo el Hemisferio Norte más cálido que el Hemisferio Sur durante los meses de junio, julio y agosto, porque recibe más energía solar. De la misma manera, durante los meses de diciembre, enero y febrero, el Hemisferio Sur recibe más energía solar que el similar del Norte y, por lo tanto, se torna más cálido. En la zona tropical la energía que se recibe es casi la misma cantidad a lo largo del año, y por ello, las temperaturas son más uniformes a través de los meses.
- ✓ Tipos de superficie terrestre: Las diferencias de la capacidad calorífica debida a los distintos tipos de suelo, vegetación y humedad en el suelo producen efectos muy importantes en la variación de temperatura.
- ✓ Variación con la altura: En la tropósfera, la temperatura decrece normalmente con la altura, aproximadamente 6.5 °C por cada 1.000 metros. Sin embargo, en ocasiones se puede registrar un aumento de temperatura con la altura. A este incremento de la temperatura con la altura se le denomina inversión de temperatura.

Humedad.

En la atmósfera terrestre se encuentran cantidades variables de agua en forma de vapor, el cual es uno de los componentes más importantes de la atmósfera y en algunos aspectos el más importante. La mayor parte de la humedad se encuentra en los cinco primeros kilómetros de la troposfera, y procede de diversas fuentes terrestres, principalmente de la evaporación de los mares. El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente de la temperatura: cuanto más elevada en una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. Al contrario, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua.

El término humedad se emplea para designar la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen dado de aire. El agua está mezclada con aire de forma homogénea en el estado gaseoso. Al igual que cualquier sustancia, el aire tiene una capacidad limitada de absorción, que se conoce como saturación. Por debajo del punto de saturación, el aire húmedo no se distingue a simple vista del aire seco, es absolutamente incoloro y

transparente; sobre el límite de saturación, la cantidad de agua en exceso se precipita, ya sea en forma de neblina o bien como pequeñas gotas de lluvia (IDEAM, 2005).

La humedad del aire es variable y depende fundamentalmente del grado de evaporación de los océanos u otras fuentes de agua. Mientras los demás gases que componen la atmósfera permanecen en forma gaseosa, el vapor se convierte frecuentemente en agua líquida, la cual a menudo se condensa en nieve y hielo. Esto es debido a que la condensación y la congelación tienen lugar a temperaturas que están en el orden de magnitud de las temperaturas atmosféricas. El vapor de agua de la atmósfera presenta su mayor concentración en las capas bajas de la troposfera y normalmente, cerca del 50% del contenido total, se encuentra por debajo de los 2.000 metros.

Los instrumentos que se emplean para medir el contenido de vapor de agua en la atmósfera se llaman higrómetros y son básicamente el sicrómetro y el higrógrafo. A continuación se presentan parámetros importantes relacionados con la humedad (IDEAM, 2005).

- ✓ Presión de vapor saturado: Se conoce como presión de vapor saturado el aumento de la presión de vapor hasta un estado en el que penetran en el líquido tantas moléculas como las que salen de él; se alcanza entonces un estado de equilibrio y la evaporación se interrumpe. Para cada temperatura existe una presión de vapor saturado y la masa de aire no puede recibir más vapor de agua; se inicia entonces la condensación.
- ✓ Tensión de vapor: Es la presión parcial que ejerce el vapor de agua que se encuentra contenido en la atmósfera, a una presión y temperaturas definidas. La cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera varía en el tiempo y en el espacio.
- ✓ Humedad relativa del aire: Es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura. Se expresa en unidades enteras que van de 0 hasta el 100%. Los valores de humedad relativa dependen necesariamente de la temperatura del momento. En las zonas tropicales continentales, en donde las variaciones de la temperatura durante el día son generalmente grandes, la humedad relativa cambia considerablemente en el curso del día.
- ✓ Temperatura del punto de rocío: O simplemente punto de rocío, es la temperatura a la cual el aire debe ser enfriado, a presión constante y a contenido de vapor de agua constante, para que ocurra saturación; o también la temperatura a la que la tensión de saturación es la misma que la tensión de vapor existente. Si la temperatura de enfriamiento es menor que la del punto de rocío, se produce la condensación.

- ✓ Humedad absoluta, concentración de vapor o densidad de vapor: es la relación entre la masa de vapor de agua y el volumen ocupado por una mezcla de vapor de agua y aire seco.
- ✓ Humedad específica, concentración de masa o contenido de humedad: es la relación entre la masa del vapor de agua y la masa del aire húmedo en el cual la masa de vapor está contenida.

Precipitación.

La lluvia es el fenómeno atmosférico consistente en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas, cuyo diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s (IDEAM, 2005).

La primera fase consiste en la formación de la nube. Las nubes se forman por enfriamiento de parcelas (masas) de aire húmedo, que puede ser debido a un ascenso de la parcela o a un proceso isobárico. La masa se va enfriando paulatinamente durante el ascenso, hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío, momento en el cual se produce la condensación del vapor de agua, con la consiguiente conversión del vapor en pequeñísimas gotas de agua. Una nube es un grupo de pequeñísimas partículas (gotitas o cristales) de agua, en número aproximado de unas 100 por centímetro cúbico y cuyos tamaños son del orden de decenas o centenas de micras. En general, una nube es muy estable y las gotitas manifiestan muy poca tendencia a juntarse o a cambiar de tamaño, como no sea en un proceso general en el que toma parte toda la población de gotitas (IDEAM, 2005).

La lluvia se forma en diferentes fases. La primera fase consiste en la formación de la nube lo que es originado por enfriamiento de parcelas, o masas, de aire húmedo, que puede ser debido a un ascenso de la parcela o a un proceso isobárico. La masa se va enfriando paulatinamente durante el ascenso, hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío, momento en el cual se produce la condensación del vapor de agua, con la consiguiente conversión del vapor en pequeñísimas gotas de agua. Una nube es un grupo de pequeñísimas partículas de agua, en número aproximado de unas 100 por centímetro cúbico y cuyos tamaños son del orden de decenas o centenas de micras. En general, una nube es muy estable y las gotas manifiestan muy poca tendencia a juntarse o a cambiar de tamaño, como no sea en un proceso general en el que toma parte toda la población de gotas.

Para que la transición de fase vapor de agua a gotas de agua líquida o cristales de hielo, partículas de las cuales consiste una nube, se inicie es necesaria la presencia de grandes concentraciones de partículas en suspensión, con un rango de tamaño desde centésimas de micra hasta decenas de micras, llamadas aerosoles. Algunos de estos aerosoles tienen gran afinidad por el agua y pueden actuar como centros de concentración; tales partículas

se denominan núcleos de condensación. Por este motivo los núcleos de condensación desempeñan un papel esencial en el comienzo mismo del proceso de formación de la nube. En presencia de núcleos de condensación, en el aire saturado precipita el vapor de agua en forma de gotas de pequeño tamaño. La existencia de corrientes ascendentes provoca la formación de cristales de hielo en la parte superior de las nubes, los cuales, al caer, sirven de núcleo de condensación a la vez que se licuan, formando de este modo las gotas de lluvia que se precipitan. La precipitación se origina cuando el conglomerado se hace inestable y entonces unas gotas crecen a expensas de las otras. Los mecanismos mediante los cuales la microestructura de la nube se inestabiliza implica la colisión directa de las gotas de agua y su coalescencia o unión (IDEAM, 2005).

Medición de la lluvia.

El volumen de lluvia se mide en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado. Los dos principales aparatos de medición de la precipitación son el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen total de lluvia caída durante el día meteorológico, es decir de 7 a.m. a 7 a.m. del día siguiente. El segundo es un aparato de registro continuo que permite determinar la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado (IDEAM, 2005). En la Figura 6 se presenta un pluviómetro y un pluviógrafo.

Figura 6. Pluviógrafo y pluviómetro



Fuente: (IDEAM, 2005)

Lección 19. Estabilidad atmosférica y altura de mezcla.

Porción de aire.

A lo largo de la lección, se tratará el concepto de porción de aire. Esta porción, teóricamente infinitesimal, es un cuerpo nítido de aire, con un número constante de moléculas, que actúa como un todo. Pero al ser independiente, no se mezcla fácilmente con el aire circundante. El intercambio de calor entre la porción de aire y sus alrededores es mínimo y su temperatura, generalmente uniforme. Una porción de aire es análoga al aire contenido en un globo (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS, 2005).

Factores de flotabilidad.

La temperatura y la presión atmosférica influyen en la flotabilidad de las porciones de aire. Mientras otras condiciones permanecen constantes, la temperatura del aire se eleva a medida que la presión atmosférica aumenta y decrece a medida que esta disminuye. En lo que respecta a la atmósfera, en la cual la presión del aire decrece con una altitud mayor, la temperatura normal de la troposfera disminuye con la altura.

Una porción de aire que se vuelve más cálida que el aire circundante, por factores tales como la irradiación de calor de la superficie terrestre, comienza a expandirse y enfriarse ya que la temperatura de la porción es mayor que el aire circundante, es también menos densa. Esto hace que la porción se eleve o flote. Al elevarse, también se expande, con lo cual disminuye su presión y, por lo tanto, también su temperatura. El enfriamiento inicial de una porción de aire produce el efecto contrario. Es decir, mientras que el aire cálido se eleva y enfría, el aire frío desciende y se calienta (CEPIS, 2005).

Gradiente vertical de temperatura.

El gradiente vertical de temperatura se define como el gradiente en el que la temperatura del aire cambia con la altura. El verdadero gradiente vertical de temperatura de la atmósfera es aproximadamente de 6 a 7 °C por km en la troposfera, pero varía mucho según el lugar y la hora del día. Una disminución de temperatura con la altura se define como un gradiente vertical negativo y un aumento de temperatura con la altura como uno positivo. El comportamiento de la atmósfera cuando el aire se desplaza verticalmente depende de la estabilidad atmosférica. Una atmósfera estable resiste la circulación vertical; el aire que se desplaza verticalmente en ella tiende a regresar a su posición inicial. Esta característica de la atmósfera le confiere la capacidad de dispersar los contaminantes emitidos al aire (CEPIS, 2005).

Gradiente adiabático seco.

El gradiente vertical adiabático seco es fundamental en la definición de la estabilidad atmosférica. Una porción de aire en su mayor parte no intercambia calor traspasando sus fronteras. Por consiguiente, una porción de aire más cálida que el aire circundante no transfiere calor a la atmósfera. Cualquier cambio de temperatura producido en la porción de aire se debe a aumentos o disminuciones de la actividad molecular interna. Estas modificaciones se producen adiabáticamente y se deben sólo al cambio de la presión atmosférica provocado por el movimiento vertical de la porción de aire. Un proceso adiabático es aquel en el que no se produce transferencia de calor ni de masa a través de las fronteras de la porción de aire. En este proceso, la compresión da lugar al calentamiento, y la expansión al enfriamiento. Una porción de aire seco que se eleva en la atmósfera se enfría en el gradiente adiabático seco de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada kilómetro y presenta un gradiente vertical de $-9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada kilómetro. De manera similar, una porción de aire seco que se hunde en la atmósfera se calienta en el gradiente adiabático seco de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada kilómetro y presenta un gradiente vertical de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ por kilómetro. En este contexto, se considera que el aire es seco ya que el agua que contiene permanece en estado gaseoso. El gradiente vertical adiabático seco es fijo, totalmente independiente de la temperatura del aire ambiental (CEPIS, 2005).

Gradiente vertical adiabático húmedo.

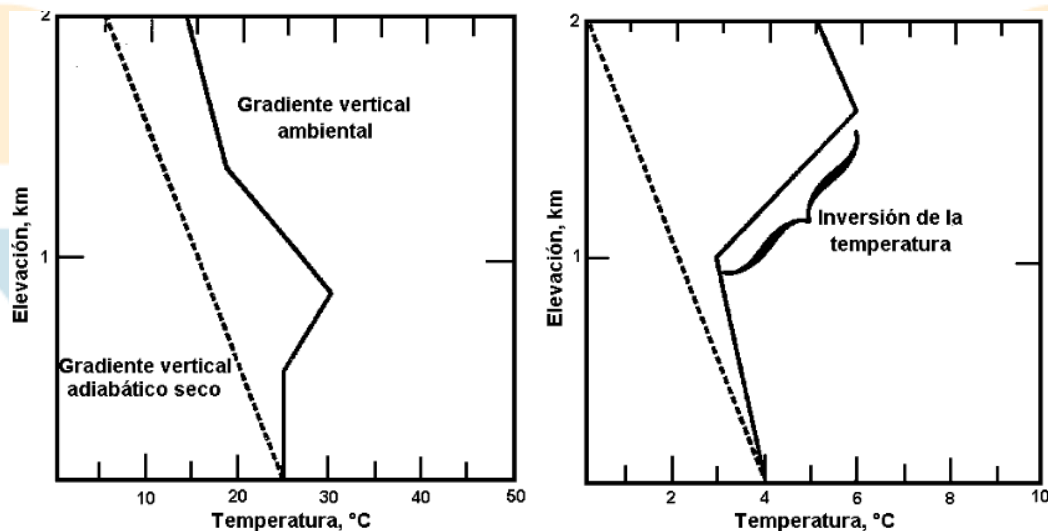
Al elevarse, una porción de aire seco que contiene vapor de agua seguirá enfriándose en el gradiente vertical adiabático seco hasta que alcance su temperatura de condensación o punto de rocío. En este punto, la presión del vapor de agua iguala a la del vapor de saturación del aire y una parte del vapor de agua se comienza a condensar. La condensación libera calor latente en la porción de aire y, por consiguiente, el gradiente de enfriamiento de la porción disminuye, lo cual se denomina gradiente vertical adiabático húmedo. A diferencia del gradiente vertical adiabático seco, no es constante pero depende de la temperatura y la presión. Sin embargo, en la mitad de la troposfera, se estima un gradiente aproximado de $6\text{ a }7\text{ }^{\circ}\text{C/km}$ (CEPIS, 2005).

Gradiente ambiental.

El verdadero perfil de la temperatura del aire ambiental muestra el gradiente vertical del ambiente. Este, algunas veces denominado gradiente vertical prevalente o atmosférico, es el resultado de complejas interacciones complejas producidas por factores meteorológicos y generalmente se considera que consiste en una disminución en la temperatura con la altura. Es particularmente importante para la circulación vertical, ya que la temperatura del aire circundante determina el grado en el que una porción de aire se eleva o desciende. Como se representa en la Figura 7, el perfil de temperatura puede

variar considerablemente con la altitud; algunas veces puede alcanzar gradientes mayores que el adiabático seco y en otras ocasiones, menores. El fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud se conoce como inversión de la temperatura. Esta situación es importante principalmente en la contaminación del aire porque limita la circulación vertical de este (CEPIS, 2005).

Figura 7. Gradiente vertical ambiental e inversión de la temperatura.



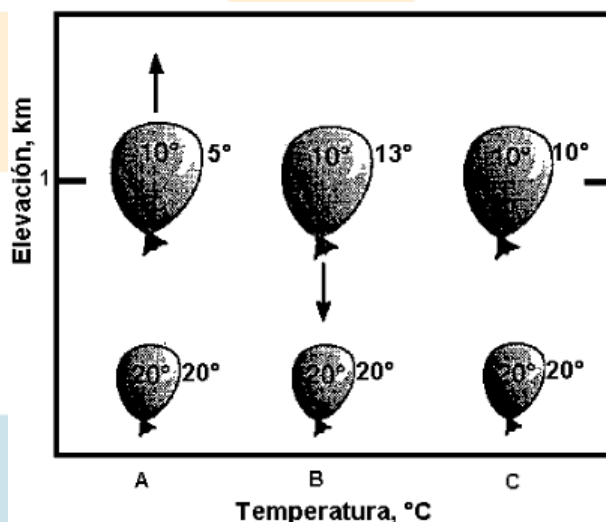
Fuente: (CEPIS, 2005)

Altura de mezcla

En este momento es importante recordar la analogía de la porción de aire con un globo. La Figura 8 indica tres maneras en que el gradiente adiabático influye en la flotabilidad. En cada situación asuma que el globo se infla con aire a 20 °C en el nivel del suelo y luego es impulsado manualmente a una altura de 1 km, por ejemplo por el viento sobre la cresta de una montaña. El aire del globo se expandirá y enfriará a aproximadamente 10 °C. La elevación o caída del globo debido a la descarga depende de la temperatura y la densidad del aire circundante. En la situación "A", el globo se elevará porque permanece más cálido y menos denso que el aire circundante, el cual está a 5 °C. En la situación "B", se hundirá porque es más frío y denso, ya que el aire está a 13 °C. En la situación "C", no se moverá porque tiene la misma temperatura y densidad que el aire circundante.

Los mismos principios se aplican para las condiciones reales de la atmósfera cuando una porción de aire se calienta cerca de la superficie y se eleva, y otra desciende para tomar su lugar. La relación entre el gradiente vertical adiabático y el gradiente vertical ambiental debería ser visible entonces. Este último controla el grado en el que una porción de aire puede elevarse o descender (CEPIS, 2005).

Figura 8. Relación del gradiente adiabático con la temperatura del aire.



Fuente: (CEPIS, 2005)

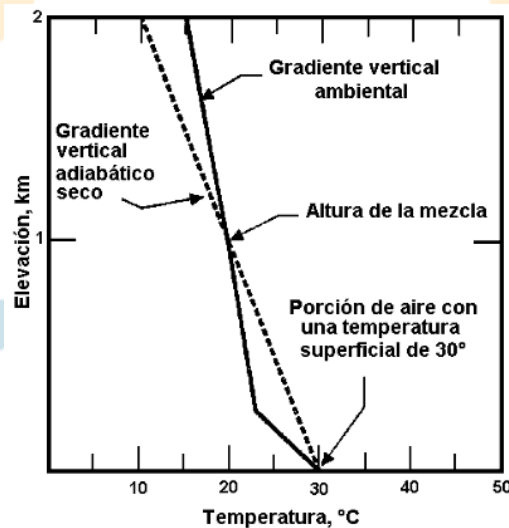
En un diagrama adiabático, como el de la Figura 9, el punto en el que la porción de aire que se enfría en el gradiente vertical adiabático seco intersecta la “línea” perfil de la temperatura ambiental se conoce como altura de mezcla. Este es el nivel máximo al que la porción de aire puede ascender. Cuando no se produce ninguna intersección, es decir cuando el gradiente vertical ambiental es mucho mayor que el gradiente vertical adiabático, la altura de mezcla se puede extender a mayores alturas en la atmósfera. El aire que se encuentra debajo de la altura de mezcla conforma la capa de mezclado. Mientras más profunda sea esta capa, mayor será el volumen de aire disponible para la dispersión de los contaminantes (CEPIS, 2005).

Estabilidad atmosférica.

El grado de estabilidad atmosférica se determina a partir de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y el aire circundante. Este contraste puede causar el movimiento vertical de la porción de aire haciéndola elevar o descender. Este movimiento se caracteriza por cuatro condiciones básicas que describen la estabilidad general de la atmósfera. En condiciones estables, el movimiento vertical se inhibe, mientras que en condiciones inestables la porción de aire tiende a moverse continuamente hacia arriba o hacia abajo. Las condiciones neutrales no propician ni inhiben el movimiento del aire después del gradiente de calentamiento o enfriamiento adiabático. Cuando las condiciones son extremadamente estables, el aire frío cercano a la superficie es “entrampado” por una capa de aire cálido sobre este. Esta condición, denominada

inversión, prácticamente impide la circulación vertical del aire. Estas condiciones están directamente relacionadas con las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental (CEPIS, 2005).

Figura 9. Altura de mezcla



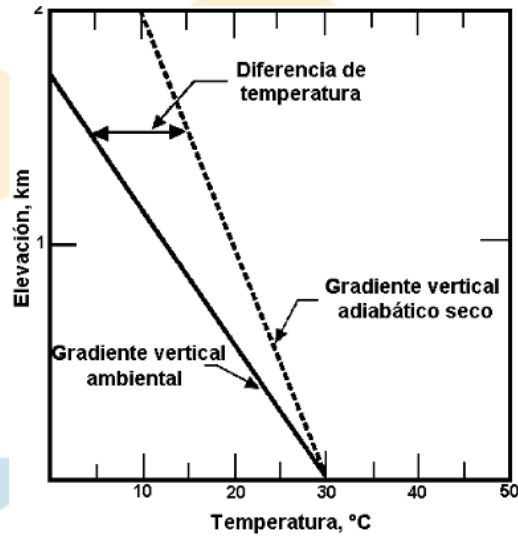
Fuente: (CEPIS, 2005)

Condiciones inestables.

Una porción de aire que empieza a elevarse se enfriará en el gradiente adiabático seco hasta que alcance su punto de rocío, en el que se enfriará en el gradiente adiabático húmedo. Esto supone que la atmósfera circundante tiene un gradiente vertical mayor que el gradiente vertical adiabático, con un enfriamiento a más de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C/km}$, de modo que la porción que se eleva seguirá siendo más cálida que el aire circundante. Este es un gradiente superadiabático. Como se indica en la Figura 10, la diferencia de temperatura entre el verdadero gradiente vertical de temperatura del ambiente y el gradiente vertical adiabático seco en realidad aumenta con la altura, al igual que la flotabilidad.

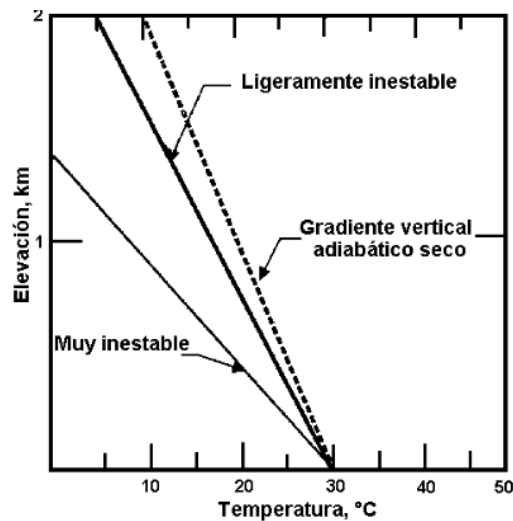
A medida que el aire se eleva, el aire más frío se mueve por debajo. La superficie terrestre puede hacer que se caliente y empiece a elevarse nuevamente. Bajo estas condiciones, la circulación vertical en ambas direcciones aumenta y se produce una mezcla vertical considerable. El grado de inestabilidad depende de las diferencias entre los gradientes verticales ambientales y los adiabáticos secos. La Figura 11 muestra condiciones ligeramente inestables y condiciones muy inestables (CEPIS, 2005).

Figura 10. Aumento de la flotabilidad relacionado con la inestabilidad, gradiente vertical superadiabático



Fuente: (CEPIS, 2005)

Figura 11. Condiciones inestables de la atmósfera



Fuente: (CEPIS, 2005)

Las condiciones inestables más comunes se producen durante los días soleados con vientos de bajas velocidades y fuerte insolación. La Tierra absorbe rápidamente el calor y transfiere parte de este a la capa de aire superficial. Si las propiedades térmicas de la superficie son uniformes, es posible que exista una masa flotante de aire, o numerosas porciones de aire si dichas propiedades varían. Cuando el aire se calienta, se vuelve menos denso que el aire circundante y se eleva. Otra condición que puede conducir a la

inestabilidad atmosférica es la producción de ciclones caracterizados por aire ascendente, nubes y precipitación (CEPIS, 2005).

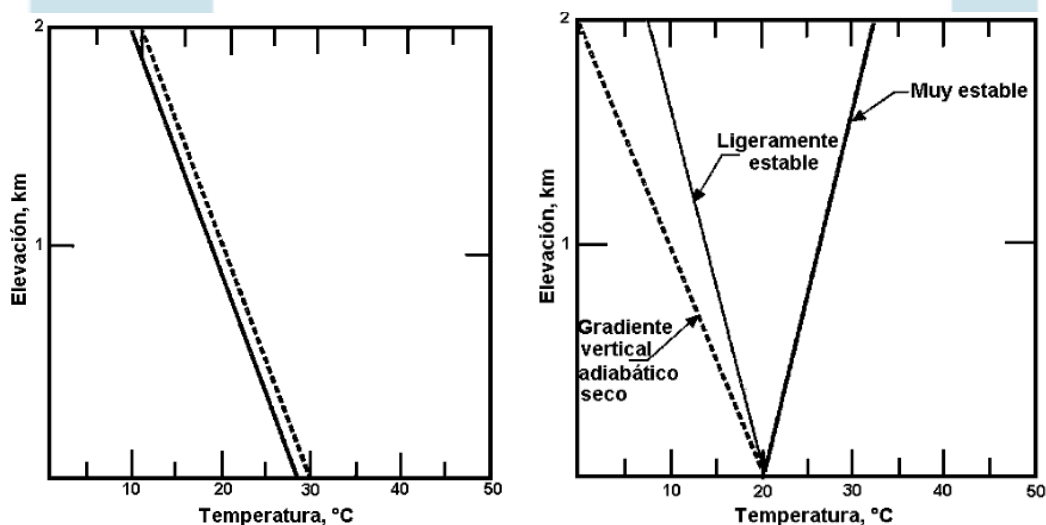
Condiciones neutrales

Cuando el gradiente vertical de la temperatura del ambiente es el mismo que el gradiente vertical adiabático seco, lo que se representa en la Figura 12, la atmósfera se encuentra en estabilidad neutral. Estas condiciones no estimulan ni inhiben el movimiento vertical del aire. La condición neutral es importante porque constituye el límite entre las condiciones estables y las inestables. Se produce durante los días con viento o cuando una capa de nubes impide el calentamiento o enfriamiento fuerte de la superficie terrestre (CEPIS, 2005).

Condiciones estables

Cuando el gradiente vertical ambiental es menor que el gradiente vertical adiabático, ver Figura 12, es decir se enfría a menos de $9,8\text{ }^{\circ}\text{C/km}$, el aire es estable y resiste la circulación vertical. Este es un gradiente vertical subadiabático. El aire que se eleva verticalmente permanecerá más frío y, por lo tanto, más denso que el aire circundante. Una vez que se retira la fuerza de elevación, el aire que se elevó regresará a su posición original. Las condiciones estables se producen durante la noche, cuando el viento es escaso o nulo (CEPIS, 2005).

Figura 12. Condiciones neutrales y estables de la atmósfera



Fuente: (CEPIS, 2005)

Inversiones

Una inversión se produce cuando la temperatura del aire aumenta con la altura. Esta situación es muy común pero generalmente está confinada a una capa relativamente superficial. Las plumas emitidas a las capas de aire que experimentan una inversión no se dispersan mucho al ser transportadas por el viento. Las plumas emitidas por encima o por debajo de una capa invertida no penetran en ella sino que quedan atrapadas.

Por lo general, las altas concentraciones de contaminantes del aire están relacionadas con las inversiones ya que estas inhiben la dispersión de las plumas. Los cuatro tipos de inversión principales se deben a diversas interacciones atmosféricas y presentan diferentes períodos de duración; dichos tipos son: inversión por radiación, inversión por subsidencia, inversión frontal e inversión por advección.

Para mayor información sobre estabilidad atmosférica y los tipos de inversión visita el siguiente sitio:

http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/frame_m2.html

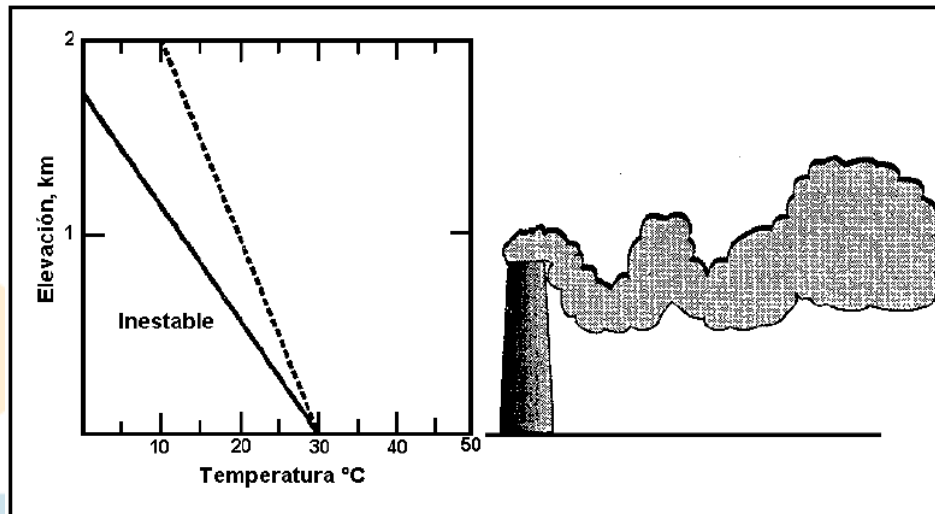
Lección 20. Factores naturales y antropogénicos que influyen en el transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos.

Estabilidad atmosférica y comportamiento de la pluma

El grado de estabilidad atmosférica y la altura de mezcla resultante tienen un importante efecto en las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental. Los contaminantes que no se pueden dispersar hacia arriba lo pueden hacer horizontalmente a través de los vientos superficiales. La combinación de los movimientos verticales y horizontales del aire influye en el comportamiento de las plumas de fuentes puntuales. A continuación se describirán los diversos tipos de plumas característicos de diferentes condiciones de estabilidad (CEPIS, 2005).

- ✓ La pluma de espiral, presentada en Figura 13, se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire. Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.

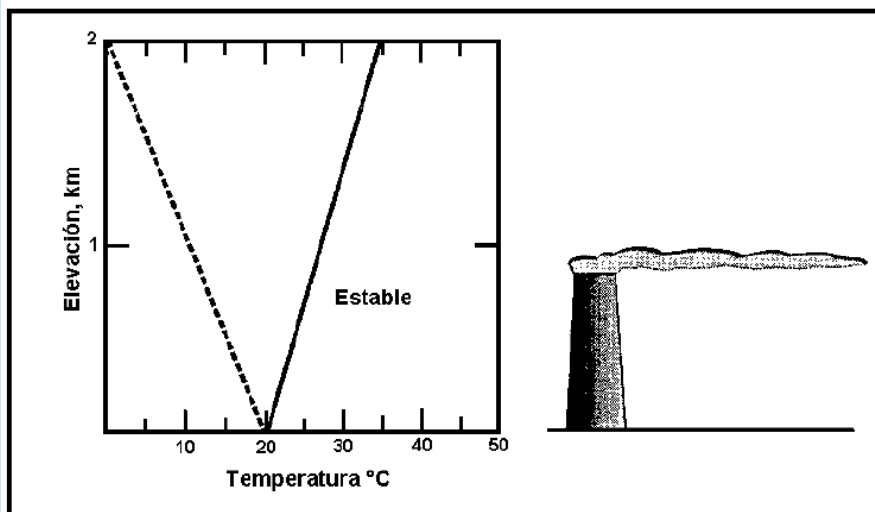
Figura 13. Pluma de espiral



Fuente: (CEPIS, 2005)

- ✓ La pluma de abanico, ver Figura 14, se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente. Las plumas de abanico ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana durante una inversión por radiación.

Figura 14. Pluma de abanico



Fuente: (CEPIS, 2005)

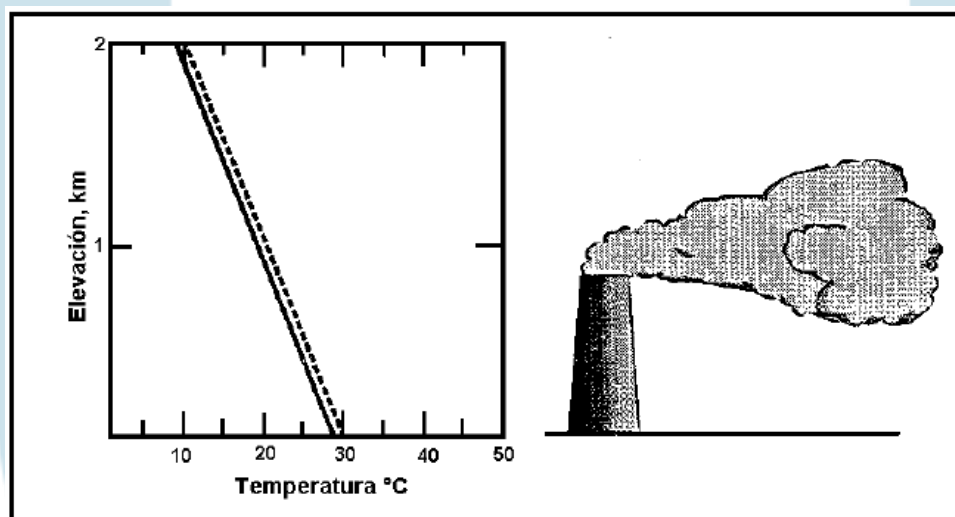
- ✓ La pluma de cono, representada en la Figura 15, es característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor

probabilidad de producirse en días nublados o soleados, entre la interrupción de una inversión por radiación y el desarrollo de condiciones diurnas inestables.

Un problema importante para la dispersión de los contaminantes es la presencia de una capa de inversión, que actúa como una barrera para la mezcla vertical. Durante una inversión, la altura de una chimenea en relación con la de una capa de inversión muchas veces puede influir en la concentración de los contaminantes en el nivel del suelo. Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión, ver Figura 16, la descarga de una pluma sobre ésta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente. Esta condición se conoce como flotación (CEPIS, 2005).

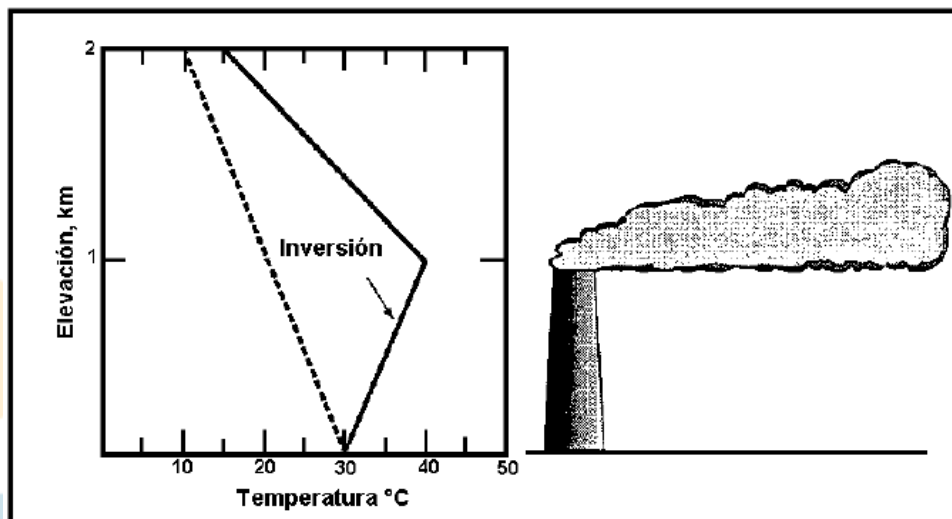
Si la pluma se libera justo debajo de una capa de inversión, es probable que se desarrolle una grave situación de contaminación del aire. Ya que el suelo se calienta durante la mañana, el aire que se encuentra debajo de la mencionada capa se vuelve inestable. Cuando la inestabilidad alcanza el nivel de la pluma entrampada bajo la capa de inversión, los contaminantes se pueden transportar rápidamente hacia abajo hasta llegar al suelo, lo cual se representa en la Figura 17. Este fenómeno se conoce como fumigación. Las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo pueden ser muy altas cuando se produce la fumigación. Esta se puede prevenir si las chimeneas son suficientemente altas (CEPIS, 2005).

Figura 15. Pluma cono



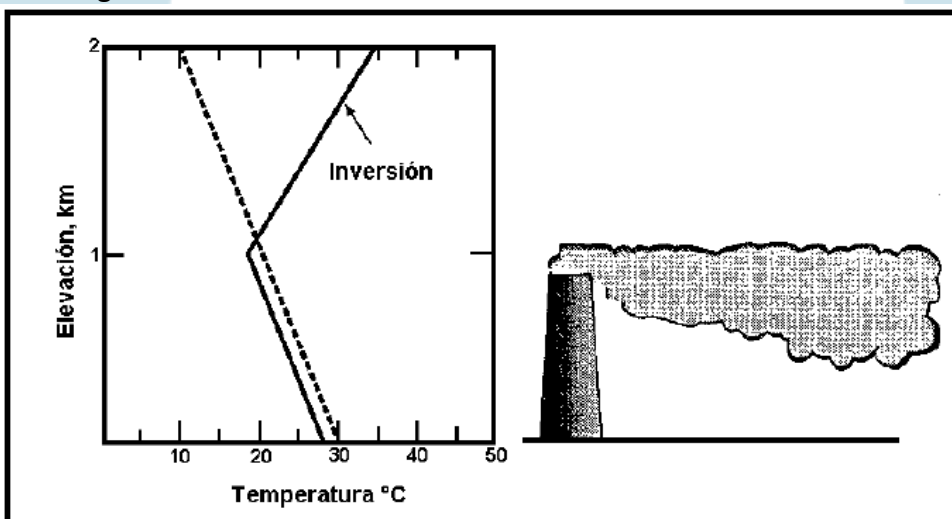
Fuente: (CEPIS, 2005)

Figura 16. Pluma de flotación



Fuente: (CEPIS, 2005)

Figura 17. Fumigación



Fuente: (CEPIS, 2005)

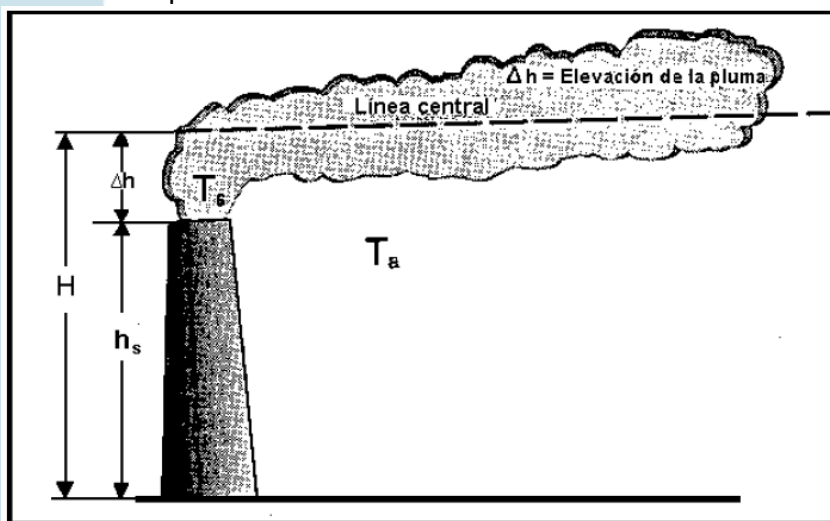
Elevación de la pluma

Los gases emitidos por las chimeneas muchas veces son impulsados por sistemas de ventilación. A medida que los gases de escape turbulentos son emitidos por la pluma, se mezclan con el aire del ambiente. Esta mezcla del aire ambiental en la pluma se denomina arrastre. Durante el arrastre en el aire, la pluma aumenta su diámetro mientras viaja a sotavento. Al entrar en la atmósfera, estos gases tienen un momentum. Muchas veces se calientan y se vuelven más cálidos que el aire externo. En estos casos, los gases emitidos son menos densos que el aire exterior y, por lo tanto, flotantes. La combinación del

momentum y la flotabilidad de los gases hace que estos se eleven. Este fenómeno, conocido como elevación de la pluma, permite que los contaminantes emitidos al aire en esta corriente de gas se eleven a una altura mayor en la atmósfera. Al estar en una capa atmosférica más alta y más alejada del suelo, la pluma experimentará una mayor dispersión antes de llegar a este (CEPIS, 2005).

La altura final de la pluma, conocida como altura efectiva de chimenea (H), es la suma de la altura física de la chimenea (h_s) y la elevación de la pluma (Δh). En realidad, la elevación de la pluma se estima a partir de la distancia existente hasta la línea central imaginaria de la pluma y no hasta el borde superior o inferior de esta, dicha línea central se presenta en la Figura 18. La elevación de la pluma depende de las características físicas de la chimenea y del efluente o gas de chimenea. La diferencia de temperatura entre el gas de la chimenea (T_s) y el aire ambiental (T_a) determina la densidad de la pluma, que influye en su elevación. Además, la velocidad de los gases de la chimenea, que es una función del diámetro de la chimenea y de la tasa volumétrica del flujo de los gases de escape, determina el momentum de la pluma (CEPIS, 2005).

Figura 18. Elevación de la pluma



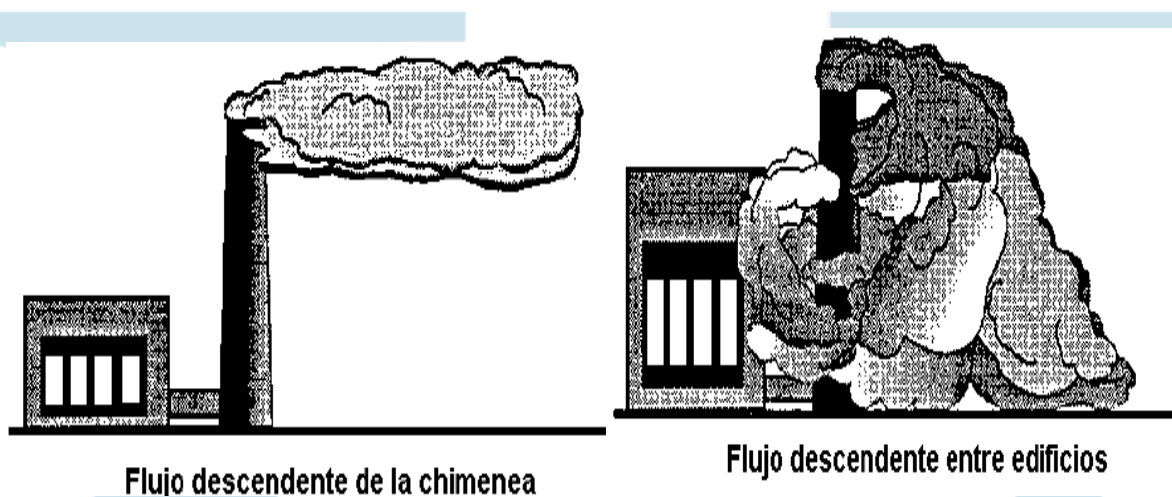
Fuente: (CEPIS, 2005)

Efectos de la fuente en la elevación de la pluma

Debido a la configuración de la chimenea o a los edificios adyacentes, es posible que la pluma no se eleve libremente en la atmósfera. Algunos efectos aerodinámicos causados por el modo en el que se mueve el viento alrededor de los edificios adyacentes y de la chimenea pueden impulsar a la pluma hacia el suelo en lugar de permitir que se eleve en la atmósfera.

El flujo descendente de la chimenea puede producirse cuando la razón entre la velocidad de salida de la chimenea y la del viento es pequeña. En este caso, la presión baja en la estela de la chimenea puede hacer que la pluma descienda detrás de la chimenea. Cuando esto sucede, la dispersión de los contaminantes disminuye, lo que puede determinar concentraciones elevadas de contaminantes inmediatamente a sotavento de la fuente. A medida que el aire se mueve sobre y alrededor de los edificios y otras estructuras, se forman olas turbulentas. Según la altura de descarga de una pluma, denominada también altura de la chimenea, es probable que esta sea arrastrada hacia abajo en esta área de la estela. Esto se conoce como flujo descendente aerodinámico o entre edificios de la pluma y puede conducir a concentraciones elevadas de contaminantes inmediatamente a sotavento de la fuente. La Figura 19 ilustra estos efectos (CEPIS, 2005).

Figura 19. Ejemplos de flujo descendente de la pluma



Fuente: (CEPIS, 2005)

Capítulo 5. MODELOS, PROCEDIMIENTOS, MÉTODOS, Y/O TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES GENERADAS POR FUENTES FIJAS

Lección 21. Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Físicamente, la dispersión es la evolución del estado de los contaminantes respecto a un sistema de referencia, ella depende de muchos factores relacionados como: la naturaleza física y química de los contaminantes, las características meteorológicas del ambiente, el terreno sobre el cual se transportan y se difunden y la altura de las fuentes respecto a la superficie.

Los modelos de dispersión de calidad del aire consisten en un grupo de ecuaciones matemáticas que sirven para interpretar y predecir las concentraciones de contaminantes atmosféricos causadas por la dispersión y por el impacto de las plumas. Estos modelos incluyen en su desarrollo las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía (CEPIS, 2005). Los modelos matemáticos de dispersión de contaminantes en la atmósfera, forman tres clases importantes: empíricos, semi-empíricos y numéricos.

Los modelos empíricos se basan en análisis estadísticos de datos obtenidos de calidad del aire, datos de fuentes de emisión y datos meteorológicos registrados para una localidad específica. Los modelos numéricos son obtenidos a partir de las características químicas y físicas, relacionadas con los fenómenos de transporte, difusión, transformación y remoción de contaminantes y, requieren de información científica experimental muy extensa. Los modelos empíricos requieren de una cantidad importante de datos meteorológicos y de una buena base de datos de emisión, y son calificados sobre la base de un análisis de pruebas estadísticas estándar. Por desgracia, solo pueden ser aplicados en las localidades que dieron origen a esas bases de datos, y solo un estudio profundo de los criterios de elaboración de estos modelos puede lograr su extrapolación a otros sitios. Sin embargo, los modelos semi-empíricos, que son una conjugación de las dos primeras clases, son los más utilizados actualmente, tanto por su facilidad de aplicación como por el tiempo requerido para su solución: estos modelos son del tipo gaussiano. Se les llama semi-empíricos porque tienen principios científicos, como el de la conservación de la masa, pero se apoyan en parámetros definidos y obtenidos de manera empírica, tales como los coeficientes de dispersión de los contaminantes (Ruíz, 2002).

Los miembros de las familias de los modelos empíricos, semi-empíricos y numéricos, poseen una variedad de características que permiten hacer una selección preliminar del

mejor modelo de aplicación. Estas características son el resultado de las condiciones meteorológicas y topográficas, las escalas del espacio y tiempo, propias de la aplicación del modelo, el procedimiento matemático para resolver los sistemas de ecuaciones y, los mecanismos de reacción requeridos para poder solucionar un problema específico. A continuación se presenta posibles aspectos a tener en cuenta en la selección del modelo (Ruíz, 2002):

- ✓ Escalas de tiempo y espacio bien definidas
- ✓ Dependencia del régimen en estado estacionario o tiempo
- ✓ Marco referencial ambiental
- ✓ Tipo de contaminante y mecanismos de reacción
- ✓ Tratamiento matemático de la turbulencia atmosférica
- ✓ Consideraciones para múltiples fuentes
- ✓ Tratamiento matemático de la topografía
- ✓ Tratamiento matemático del error inducido

La selección de escala tiempo, desde el punto de vista de la aplicación del modelo, depende de los efectos específicos para cada contaminantes, de las normas de calidad del aire y la variabilidad de la emisiones y de la meteorología. Las normas de calidad del aire están relacionadas con escalas de tiempo o rangos de exposición, en las cuales es posible que puedan existir efectos en la salud. La variabilidad de las emisiones está en función de la operación de la planta industrial, por citar un ejemplo; mientras que la variabilidad en la meteorología tiene que ver con la estabilidad atmosférica.

Los modelos son de flujo estacionario o de tiempo variable, dependiendo si el tiempo esta explícito en su formulación. Si el sistema representa el promedio de un estado del fenómeno en cierto periodo, el modelo es de estado estacionario. Los modelos de estado estacionario son aplicables cuando el tiempo y la escala espacial es pequeña o cuando el resultado deseado sea lo suficientemente extenso como para que puedan ser ignoradas o promediadas las variabilidades en los efectos de los contaminantes, las emisiones y la meteorología (Ruíz, 2002).

El marco de referencia de los modelos de calidad del aire, excepto para alguno modelos empíricos, es un sistema de coordenadas x , y , z . No obstante, si el sistema de referencia esta fijo, sobre la superficie de la tierra, a la fuente de emisión, se dice que es marco euleriano; y si el sistema de referencia se fija en una nube, o puff, de contaminantes que se mueven en una corriente, viento debajo de la fuente, se llama lagrangiano (Ruíz, 2002).

El tratamiento de la turbulencia en los modelos queda cubierto matemáticamente, considerando: un volumen de mezclado perfecto, coeficiente de difusión semi-empírico o difusividad de “Eddy” la cual se basa en estudios teóricos, físicos y numéricos de la capa límite planetaria. Los coeficientes semi-empíricos son los parámetros más importantes en

los modelos gaussianos y funcionan bastante bien cuando se trata de modelar concentración de gases no reactivos.

La topografía de una localidad específica puede: generar campos de turbulencia, modificar vientos horizontales y verticales y, cambiar las distribuciones de temperatura y humedad dentro de la capa límite planetaria. Estos factores influyen en el tipo del tratamiento del modelo; así, se pueden tener modelos para terreno plano homogéneo, terreno plano no homogéneo o complejo, o bien para valles o terrenos accidentados (Ruíz, 2002).

El desarrollo de modelos de dispersión tiene límites. Los modelos de pronóstico de calidad del aire describen matemáticamente el comportamiento de gases y partículas en la atmósfera; sin embargo, el contaminante puede presentar transformaciones físicas, químicas o ambas. De esta manera, los modelos de dispersión pueden estar desarrollados para considerar diversos tipos de mecanismos de transformación. Los modelos pueden ser para contaminantes no reactivos y reactivos y, pueden, además, considerar transformaciones de gas a partículas, procesos de gas depositado en partículas y procesos de partícula a partícula (Ruíz, 2002).

Los modelos para gases no reactivos, son los más comunes y menos complejos; estos modelos se han utilizado con buenos resultados para determinar el comportamiento de gases como el monóxido de carbono y partículas que se comportan como gases, es decir aquellas con diámetro menor a 20 micrómetros. Se han utilizado estos modelos para dióxido de azufre con ciertas restricciones, ya que el SO_2 presenta algunas propiedades de reacción bajo ciertas condiciones ambientales especiales, aunque por su vida media en la atmósfera de 6,4 días, es posible considerarlo como no reactivo (Ruíz, 2002).

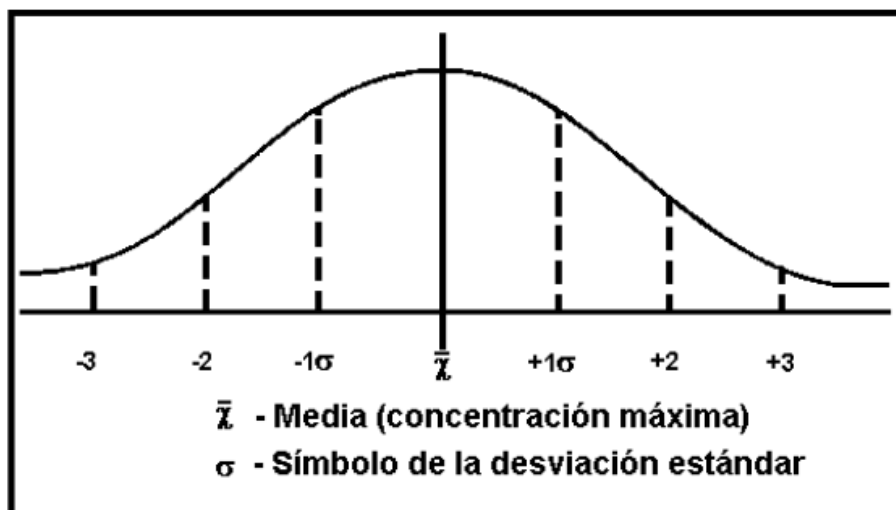
Los modelos reactivos han sido desarrollados para determinar la formación de depósitos de sulfatos a partir de SO_2 o para modelar la formación y concentración de oxidantes a partir de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, ambas emisiones provenientes de fuentes móviles y estacionarias (Ruíz, 2002).

Distribución gaussiana

El modelo de dispersión gaussiano, que utiliza la ecuación de distribución gaussiana, es uno de los más usados. La ecuación de distribución gaussiana usa cálculos relativamente simples, que sólo requieren dos parámetros de dispersión, σ_y y σ_z , para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran lejos del centro de la pluma. Esta ecuación determina las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo sobre la base de las variables atmosféricas de tiempo promedio, por ejemplo la temperatura y la velocidad del viento. Por lo tanto, no es posible obtener un cuadro instantáneo de las concentraciones de la pluma. Sin embargo, cuando se emplean promedios de tiempo de diez minutos a una hora para estimar las variables atmosféricas

de tiempo promedio necesarias en la ecuación, se puede asumir que las concentraciones de contaminantes en la pluma están distribuidas normalmente, como se señala en la Figura 20 (CEPIS, 2005).

Figura 20. Distribución gaussiana

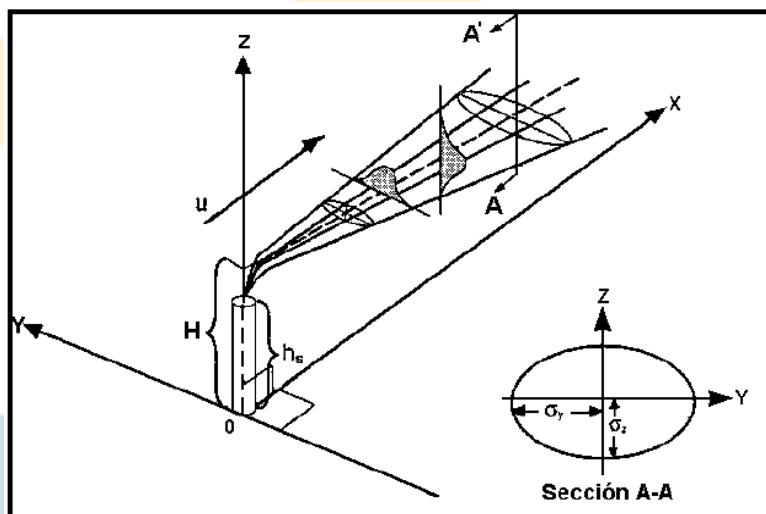


Fuente: (CEPIS, 2005)

La distribución gaussiana determina el tamaño de la pluma a sotavento de la fuente. La Figura 21 muestra una representación esquemática de la pluma gaussiana. El tamaño de la pluma depende de la estabilidad de la atmósfera y de su propia dispersión en dirección horizontal y vertical. Los coeficientes de dispersión horizontal y vertical, σ_y y σ_z respectivamente, sólo representan la desviación estándar de la normal en la curva de distribución gaussiana en las direcciones y y z. Estos coeficientes de dispersión son funciones de la velocidad del viento, de la cubierta de nubes y del calentamiento de la superficie por el sol. Para la distribución gaussiana es necesario que el material en la pluma se mantenga. En otras palabras, se debe dejar que el borde de la pluma se refleje desde el suelo sin perder ningún contaminante. Además, la distribución gaussiana y la elevación de la pluma dependen de que el suelo sea relativamente plano a lo largo del recorrido. Como se expuso anteriormente, la topografía afecta el flujo y la estabilidad atmosférica del viento. Por consiguiente, un terreno desigual debido a la presencia de cerros, valles y montañas afectará la dispersión de la pluma y la distribución gaussiana deberá ser modificada (CEPIS, 2005).

Para obtener el modelo de una pluma mediante la distribución gaussiana, es necesario que: la dispersión de la pluma tenga una distribución normal, es decir, una distribución acampanada como la presentada en la Figura 20, la tasa de emisión sea constante y continua, la velocidad y la dirección del viento sean uniformes y, la reflexión total de la pluma se produzca en la superficie (CEPIS, 2005).

Figura 21. Representación esquemática de la pluma gaussiana



Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS [44]

Modelos de dispersión de los contaminantes en la atmósfera para fuentes fijas

Los modelos de dispersión tienen muchas aplicaciones en el control de la contaminación del aire, pues son herramientas que ayudan a los científicos a evaluar la dispersión de la contaminación del aire. La exactitud de los modelos está limitada por los problemas inherentes al tratar de simplificar los factores complejos e interrelacionados que afectan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire (CEPIS, 2005). Existen diferentes modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos para fuentes fijas, los cuales han sido desarrollados ya sea por entidades oficiales o por entidades privadas.

Como ejemplos de este tipo de modelos se citan el Bouyant Line and Point Source Model BLP – el cual es un modelo de dispersión gaussiano y se emplea básicamente para modelar fuentes puntuales y lineales con empuje térmico en sus emisiones. Este modelo se emplea básicamente en actividades industriales específicas. Otro modelo es el CTDMPLUS, también de tipo gaussiano, usado para condiciones estables y terrenos complejos. El CALPUFF es un modelo de dispersión lagrangiano que trabaja con estados estables y no estables simulando los efectos de las variaciones del viento con respecto al tiempo; este modelo considera varios tipos de fuente y su estimación puede comprender hasta cientos de kilómetros.

Para consultar información relacionada con “Modelos de dispersión de los contaminantes en la atmósfera para fuentes fijas” visita el siguiente sitio:

http://www.epa.gov/ttn/catc1/cica/atech_s.html#888

<http://www.epa.gov/ttn/scram/>

http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm

<http://mca-retemca.ciemat.es/MCAportal/portal.do?IDM=27&NM=2>

Modelos de dispersión de los contaminantes en la atmósfera para fuentes móviles

Dentro de los modelos desarrollados por la EPA para la simulación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles se encuentran los modelos CALINE4, MOVES, PAL y TEXIN2.

CALINE4 es un programa desarrollado por el Departamento de transporte de California y está basado en el modelo de la pluma gaussiana que usa el concepto de zona de mezcla para caracterizar el contaminante que se está dispersando sobre la vía. Proporcionándole como datos las emisiones de las fuentes, la meteorología y la geometría del sitio, busca predecir concentraciones de contaminantes en receptores localizados hasta 500 metros de la vía.

Para consultar información relacionada con el modelo “CALINE4” visita el siguiente sitio:

<http://www.dot.ca.gov/hq/env/air/index.htm>

El modelo MOVES es utilizado para estimar concentraciones de un amplio rango de contaminantes bajo diversos escenarios. El modelo estima las emisiones de carros, camiones y motocicletas.

Para consultar información relacionada y descargar el modelo “MOVES” visita el siguiente sitio:

<http://www.epa.gov/otag/models/moves/index.htm>

El modelo PAL es un algoritmo multifuente para dispersión atmosférica. Éste también utiliza el método de la pluma gaussiana para estimar concentraciones de contaminantes no reactivos. Las concentraciones estimadas están basadas en datos meteorológicos horarios que pueden ser promediados para periodos de tiempo de una o veinticuatro horas. El programa posee seis tipos diferentes de fuentes: puntuales, dos tipos de fuentes de área, fuentes lineales y dos tipos de fuentes curvas.

Para consultar información relacionada con el modelo “PAL” visita el siguiente sitio:

<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1003MVX.PDF>

El modelo TEXIN2 incorpora características del modelo MOBILE y CALINE3. Permite calcular tasas de emisiones excesivas por embotellamientos, demoras y modos de

circulación. No es adecuado para simular condiciones en las cuales la velocidad del viento sea inferior a 1 m/s y receptores a alturas superiores a los 10 m.

Para consultar información relacionada con el modelo “PAL” visita el siguiente sitio:
<http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersionindex.htm>

Modelos receptor de contaminantes atmosféricos

Los modelos de receptores comprenden técnicas de diversos tipos que se utilizan para determinar la identidad de las fuentes de emisión que contribuyen a las concentraciones de determinados contaminantes en lugares específicos. Estas técnicas incluyen métodos microscópicos, físicos y químicos (Seigneur, 1997).

Los modelos de tipo químico se basan en la identificación de los denominados perfiles de fuente de emisión y su relación con las concentraciones halladas en un punto determinado. En este caso se supone que las concentraciones de las sustancias químicas que componen al material particulado se encuentran asociadas con las fuentes generadoras del mismo (Hopke, 2003).

Este tipo de modelos suelen ejecutarse bajo dos tipos de técnicas: el balance químico de masas – CMB y el análisis de variables múltiples. Cada una de éstas requiere de información específica de entrada y de características determinadas en los datos experimentales a analizar. De esta forma, la selección de una u otra para su aplicación se basa en el tipo y cantidad de información disponible así como en las medidas analíticas incluidas en el diseño experimental del estudio que se pretende desarrollar.

Para consultar información relacionada con “Modelos receptor de contaminantes atmosféricos” visita el siguiente sitio:
<http://www.epa.gov/ttn/scram/receptorindex.htm>

Lección 22. Equipos utilizados en la medición de contaminantes atmosféricos: fase de campo y laboratorio.

Antes de entrar a presentar los equipos utilizados en la medición de contaminantes atmosféricos, es importante hacer una distinción entre los términos inmisión y emisión ya que son dos conceptos fundamentales en el estudio de la calidad del aire, siendo la inmisión consecuencia directa de la emisión. Por un lado la emisión es la cantidad de

contaminante vertido a la atmósfera, en un período determinado, desde un foco mientras que, por otro lado, la inmisión es la concentración de contaminantes a un nivel de referencia que habitualmente se escoge como la altura de respiración del ser humano; en la actualidad se usa más el término calidad de aire que el de inmisión (Bureau Veritas Formación, 2008).

Son los niveles de inmisión o de calidad del aire los que determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Por lo tanto, para minimizar la contaminación atmosférica, es necesario, por un lado, el control de las emisiones atmosféricas, o niveles de emisión, y, por el otro, el control y la vigilancia de la presencia de los contaminantes en el aire en distintos puntos receptores, o niveles de inmisión.

En el caso de la medición de emisiones es común el uso de modelos de dispersión y de mediciones directas en los puntos de descarga de los contaminantes atmosféricos mientras que para el seguimiento de los niveles de inmisión se utilizan los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire.

Medición de contaminantes atmosféricos

El muestreo y caracterización de contaminantes atmosféricos se realiza con una gran variedad de equipos. Para determinados contaminantes existen equipos diseñados específicamente para su muestreo, como por ejemplo para las partículas suspendidas totales; en este caso se utilizan los muestreadores de alto volumen los cuales son el método de referencia de la EPA.

Para consultar información relacionada con los equipos utilizados en la realización de muestreos, o fase de campo, y en el análisis de laboratorio, para la medición de contaminantes atmosféricos se pueden visitar los siguientes sitios:

<http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Documentos%20para%20auditoria%20a%20muestreos%20isocineticos/Protocolo-monitoreo-emisiones-atmosfericas.pdf>

<http://www.comercialaralco.com/CatalogoGeneral.pdf>

http://www.comercialaralco.com/pb/wp_312a59c4/wp_312a59c4.html

<http://www.epa.gov/ttn/emc/guidInd.html>

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/determinacion.pdf>

Muestreo de contaminantes atmosféricos

La determinación de los componentes del flujo de una corriente gaseosa no podrá tener mayor exactitud que la que proporcione el grado hasta el cual la muestra tomada sea representativa del flujo de gas. Para que los resultados tengan sentido, la muestra deberá

representar la concentración y composición variables de la corriente de gas. Cuando estén implicados grandes ductos o chimeneas, una muestra de gas requerirá que se efectúen muestreos transversales al paso del gas (Wark, 1990).

A continuación se presenta la descripción de los componentes principales de un equipo de muestreo de chimenea, o tren de muestreo, de contaminantes atmosféricos.

Tabla 9. Componentes principales de un equipo de monitoreo por medición directa

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<p>Boquilla</p> 	La boquilla es un dispositivo fabricado generalmente en acero inoxidable, cuarzo o borosilicato cuyo filo en la parte final debe estar hacia el exterior, para conservar un diámetro interno constante, por el mismo motivo debe ser construida de una sola pieza. Se debe disponer de una variedad de tamaños ya que van desde 0,32 -1,27 centímetros de diámetro interior.
<p>Sonda</p> 	La sonda consiste en un tubo metálico que se encuentra recubierto con una resistencia eléctrica variable para calefacción. En un extremo la sonda tiene una unión esférica para acoplarse al resto del equipo, en el otro extremo tiene un acople para colocar la boquilla toma muestra; también tiene un termopar para medir la temperatura del gas y un tubo pitot tipo S con sus respectivos conexiones al manómetro ubicado en el modulo de control.
<p>Consola</p> 	Con esta unidad se controlan las operaciones necesarias para la toma de la muestra. Consiste en un indicador múltiple de temperaturas, interruptores y reóstatos necesarios para la operación del sistema, un medidor de volumen para gases secos con carátula indicadora, un manómetro de vacío para la operación de la bomba de vacío con sus correspondientes válvulas de control fino y grueso, los manómetros para la determinación de caídas de presión en el tubo pitot-S y en el orificio y las tomas de presión y eléctricas.
<p>Portafiltro</p> 	Fabricado en vidrio de borosilicato con un soporte para el filtro de frita de vidrio y un empaque de caucho de silicona. Pueden utilizarse otros materiales de construcción como acero inoxidable o teflón, su objetivo es garantizar la hermeticidad tanto en su entrada y salida, como alrededor del filtro, se ubica inmediatamente a la salida de la sonda o del ciclón, si es utilizado.
<p>Modulo de toma de muestra</p>	El modulo de toma de muestra consiste de dos secciones: La primera es la sección caliente, conocida como horno, donde se coloca el filtro y el ciclón, esta sección tiene un termopar para medir la temperatura del horno y una resistencia eléctrica variable para calentar toda la

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
	sección. La segunda sección es fría, denominada nevera, consiste en una caja aislada donde se colocan los impactadores en un baño de agua o hielo.
Impactadores 	Los impactadores son recipientes de vidrio que se unen entre sí de manera hermética para hacer pasar la muestra, luego de que esta ha sido filtrada. Se ubican en la cámara fría, que es bañada en su interior agua o hielo. El contenido de cada uno de los impactadores depende del método utilizado para la determinación de los contaminantes
Cordón Umbilical 	Es el dispositivo que conecta la sonda de toma de muestra con el módulo de control, por medio del cual se transmiten al modulo de control los datos de presión y temperatura en la sonda de toma de muestra.
Bomba de vacío	La bomba se utiliza para forzar el paso continuo de la muestra por el equipo de monitoreo, de manera que se pueda controlar el volumen que ha sido transportado.

Fuente: (MAVDT, 2010)

Caracterización de contaminantes atmosféricos

A continuación se describen en forma general algunos métodos químicos utilizados para la caracterización de contaminantes atmosféricos.

- ✓ Método colorimétrico: éste se puede considerar como la primera generación de instrumentos para determinar la contaminación del aire. Operan típicamente basándose en el principio que una solución en un medio acuoso del gas que se ha de determinar reacción con un reactivo específico generando determinado color y dicho color se mide por medio fotoeléctricos. Dichos analizadores se usan para medir concentraciones de SO_x, NO y NO₂ (Wark, 1990).
- ✓ Electrodo químicos y celdas electroquímicas: en el analizador químico, un volumen conocido de gas se pone en contacto con una solución absorbente que tiene un valor de pH de referencia. La solución que contiene el contaminante gaseoso disuelto, NO_x o SO, pasa luego por un electrodo selectivo a los iones donde se mide electrónicamente la concentración de los iones proporcional al contaminante absorbido.
- ✓ Análisis infrarrojo: se pueden utilizar fenómenos más bien que características químicas para inferir la concentración de los contaminantes atmosféricos del aire.

Se tiene como ejemplo el dispositivo infrarrojo no dispersivo utilizado para medir gases que absorben radiaciones infrarrojas como el monóxido de carbono.

- ✓ **Cromatografía de gases:** se utiliza para separar las diferentes especies que interesan en una muestra de gas. Por medio de algún dispositivo se introduce la muestra en la columna cromatográfica que contiene una fase estacionaria que funciona como un retardante selectivo. Un gas inerte que no está retenido por la fase estacionaria fluye a un caudal constante a través de la columna. Los cromatografos cuentan con un detector adecuado para indicar la presencia de los componentes del gas caracterizado el cual finalmente genera una representación gráfica la cual es una línea de base sobre la que se superponen una serie de picos. La localización y tiempo de los picos indican componentes de la muestra de gas y el área de los picos indica la cantidad de los componentes presentes en la muestra.

Para consultar información relacionada con métodos y equipos para la caracterización de contaminantes atmosféricos se pueden visitar los siguientes sitios:

http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica

http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/5.1CromatografiaIntroduccion_2620.pdf

http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/cromatografia_de_gases.pdf

<http://farmacia.ugr.es/ars/pdf/217.pdf>

Lección 23. Conceptos básicos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

De acuerdo con el tipo de instrumentos que utilizan para su operación los Sistemas de vigilancia de la calidad del aire - SVCA - pueden ser de tres clases:

- ✓ **SVCA Manuales:** SVCA constituidos totalmente por equipos manuales, conocidos como muestreadores y semiautomáticos.
- ✓ **SVCA Automáticos:** SVCA constituidos totalmente por equipos y sistemas automáticos, conocidos como analizadores.
- ✓ **SVCA Híbridos:** SVCA constituidos por la combinación entre equipos manuales y automáticos.

Un SVCA, independientemente del tipo de tecnología que emplee, tiene como principal objetivo medir la cantidad presente de contaminantes en el aire de determinadas regiones o áreas en un periodo de tiempo determinado. Para realizar las mediciones de la concentración de contaminantes atmosféricos, los SVCA están conformados por equipos que bien pueden ser muestreadores manuales o semiautomáticos o analizadores propiamente dichos.

Los muestreadores, son equipos que como su nombre lo indica, solo pueden ser empleados para la recolección de muestras, las cuales posteriormente deben ser llevadas al laboratorio para desarrollar los análisis físico-químicos pertinentes y realizar las respectivas cuantificaciones de la presencia del contaminante deseado. Estos equipos pueden ser de dos tipos: manuales o semiautomáticos.

Por otra parte se tienen los analizadores, que funcionan de manera automática, y a diferencia de los muestreadores, no solamente recolectan la muestra sino que internamente cuentan con los accesorios necesarios para que a partir de procedimientos como fluorescencia UV, quimioluminiscencia, absorción infrarroja, absorción de rayos beta y microbalanza, para determinar las concentraciones de cada contaminante específicamente. Cabe mencionar que la principal ventaja de los equipos semiautomáticos en comparación con los manuales, es que permiten la recolección de muestras durante varios días, sin necesidad de la presencia del operador para el cambio del medio de muestreo. Por ejemplo, un equipo semiautomático de material particulado realiza un muestreo cada 24 horas al igual que uno manual pero después de dicho período, el mismo equipo cambia el medio filtrante e inicia un nuevo monitoreo y así sucesivamente hasta que se agoten los medios filtrantes para los cuales tiene capacidad.

Sistemas manuales de vigilancia de la calidad del aire

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire manuales se caracterizan por requerir un laboratorio como apoyo para el análisis de las muestras tomadas. Requieren además, una rutina para la recolección de las muestras, de acuerdo con una periodicidad preestablecida. Las etapas generales de operación de un SVCA manual son la toma de muestra, análisis de la muestra, procesamiento de información y elaboración del reporte; lo anterior apoyado de las etapas de aseguramiento y control de la calidad y, mantenimiento y calibración de equipos.

La operación de todo SVCA debe estar amparada en un plan que defina la secuencia en la cual se desarrollarán cada una de las etapas y los responsables de su ejecución, de modo que el proceso se mecanice y se lleve a cabo garantizando la calidad de la información tomada. El mecanismo que garantiza la efectividad del proceso y la calidad de la información es el Plan de Calidad del SVCA, el cual deberá desarrollarse a lo largo de todo el proceso a fin de garantizar la confiabilidad de la información reportada. Dentro de este plan se incluyen las actividades de mantenimiento y calibración de equipos, que garantizan su operatividad y la veracidad de las lecturas y registros de las muestras tomadas. Dentro de la elaboración del Plan de Calidad se debe hacer un flujo detallado del proceso que permita establecer actividades rutinarias y no rutinarias a realizar.

Sistemas automáticos de vigilancia de la calidad del aire

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire automáticos no requieren análisis posterior de la muestra tomada. Por medio de métodos ópticos o eléctricos se analiza la muestra directamente proporcionando datos en tiempo real, de modo que se puedan tomar acciones inmediatas ante la ocurrencia de un evento de concentraciones altas de algún contaminante.

Las etapas generales de operación de un SVCA automático son la toma de muestra y análisis, procesamiento de información y elaboración del reporte; lo anterior apoyado de las etapas de aseguramiento y control de la calidad y, mantenimiento y calibración de equipos.

El análisis de la muestra es realizado de manera continua por el equipo, con base en las propiedades físicas o químicas del gas y sus posibles reacciones ante ciertos fenómenos, que generalmente están relacionados con la incidencia de energía en diferentes longitudes de onda. Por esta razón, los analizadores automáticos emplean principalmente métodos ópticos y electrónicos para la determinación de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos.

Como en el caso del SVCA manual, la operación de todo SVCA automático debe estar amparada bajo un plan que defina cada una de las etapas de ejecución y los responsables del desarrollo de tales etapas, de modo que el proceso se mecanice y se lleve a cabo garantizando la calidad de la información tomada. El mecanismo que garantiza la efectividad del proceso y la calidad de la información es el Plan de Calidad del SVCA el cual debe desarrollarse a lo largo de todo el proceso. Dentro de este plan se debe incluir el mantenimiento preventivo y correctivo, al igual que la calibración; labores que aseguran la operatividad de los equipos y la veracidad en la lectura de las muestras tomadas. En el Plan de Calidad se debe elaborar un flujo detallado del proceso que permita establecer actividades rutinarias y no rutinarias a realizar.

Para que el esquema anterior se cumpla, se debe tener en cuenta que cada estación automática deberá tener un sistema de comunicaciones adecuado, entre los que se tienen el teléfono fijo, celular y, radio, entre otros. De otra forma será necesaria una rutina de recolección de información, que en gran medida anularía las ventajas de la automatización.

Sistemas híbridos de vigilancia de la calidad del aire

Los sistemas híbridos de vigilancia de la calidad del aire se caracterizan por combinar las ventajas de los sistemas manuales y los automáticos. Con la combinación de tecnologías se pueden optimizar costos y ampliar la cobertura del sistema aprovechando la resolución

y oportunidad de los métodos automáticos y los menores costos de los métodos manuales. Estos sistemas tienen una desventaja, dado que el grado de entrenamiento de los operarios debe ser mayor, así como la cantidad del personal requerido, aspecto que puede minimizarse con los equipos semiautomáticos.

Las etapas generales de operación de un SVCA híbrido son la toma de muestra y análisis o toma de muestra, análisis, procesamiento de información y elaboración del reporte; lo anterior apoyado de las etapas de aseguramiento y control de la calidad y, mantenimiento y calibración de equipos.

Manejo de muestras y cadena de custodia

En los SVCA manuales, la principal fuente de error en los datos obtenidos se debe al manejo de las muestras. Esto incluye almacenamiento, transporte y análisis, como en el caso de medición de PST, PM₁₀ y PM_{2.5}, SO₂ y plomo. Cabe anotar, que las fallas en las mediciones no solo se presentan en los equipos de operación manual, sino también en aquellas estaciones automáticas donde no es posible la descarga y transferencia directa de los datos desde el sitio del monitoreo hasta la central de información y por lo tanto se requiere delegar a algún miembro de la organización del SVCA, la tarea de descargar periódicamente de la estación datos en un medio magnético de almacenamiento de información o incluso directamente a un procesador portátil y luego dicha información llevarla a la central de información.

En otras ocasiones, donde los equipos reportan los datos de forma impresa, es necesario también recolectar la información y llevarla hasta la central de información para su procesamiento, análisis y archivo. En las actividades mencionadas anteriormente, es necesario contar con un procedimiento estándar para realizar dicha actividad, así como establecer el encargado directo del cumplimiento y buen desarrollo de la misma.

Para todos los equipos de medición debe existir un protocolo o procedimiento que describa un único proceso a seguir en cada caso y también formularios o formatos que soporten la ejecución de dicha actividad bajo los parámetros de calidad establecidos. A dicha documentación, que asegura el manejo que se le da a las muestras y a los reportes o medios magnéticos con la información para el caso de estaciones automáticas sin transmisión directa de datos, se le conoce como registro de custodia o cadena de custodia.

La manipulación de las muestras, en los métodos que la incluyen, generalmente se da en las etapas de recolección del medio de obtención de la muestra, transporte y análisis. Estas etapas provocan los mayores errores en las mediciones debido a la manera en que se determinan las concentraciones, por esto, es fundamental que las muestras sean manipuladas tal y como se recomiendan en los procedimientos para evitar modificaciones,

pérdidas o alteraciones en las muestras y por lo tanto en la información a obtener. Las fases en las que se deben manipular las muestras incluyen el etiquetado, la recolección y el transporte (MAVDT, 2010).

SVCA en Colombia

Colombia cuenta con varios SVCA a lo largo de su territorio, los cuales conforman la red nacional de monitoreo de la calidad del aire. Para centralizar la información relacionada con calidad de aire recolectada a lo largo del territorio nacional se creó el SISAIRE. El SISAIRE es el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire, que hace parte del Sistema Nacional de Información Ambiental para Colombia; el SISAIRE es la principal fuente de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la calidad del aire. El SISAIRE es un sistema bajo ambiente Web, para la captura, almacenamiento, transferencia procesamiento y consulta de información, que permite la generación de información unificada de las redes de calidad del aire del país, y cuya administración está a cargo del IDEAM.

Este sistema de información permite: recolectar información actualizada y veraz sobre calidad del aire de manera inmediata, la cual es generada por los distintos Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire que hacen parte de las autoridades ambientales, de tal forma que se garantice la disponibilidad y la calidad de la información ambiental que se requiera por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT, para el logro del desarrollo sostenible del país; y, mantener dicha información al alcance de los ciudadanos y de las instituciones encargadas de la investigación en el tema ambiental (Sistema de información sobre calidad del aire, 2011)

Lección 24. Concepto del Índice de Calidad del Aire (ICA).

El Índice de Calidad del Aire – ICA - permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Es un indicador de la calidad del aire diaria. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud.

Índice de calidad del aire de Colombia

El Índice de calidad del aire de Colombia fue adoptado a partir del documento Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –the Air Quality Index (AQI) documento EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009.

El documento Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI) puede ser consultado en el siguiente sitio:

http://www.epa.gov/airnow/aqi_tech_assistance.pdf

El índice de calidad del aire de Colombia está enfocado en cinco contaminantes principales: ozono, material particulado, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono; lo anterior se debe a las características de los combustibles que se distribuyen en el país y a los equipos que actualmente se encuentran en las SVCA. El logo símbolo que se muestra en la Figura 22 identifica el ICA en el país.

Puntos de corte del índice nacional de calidad del aire

Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En este caso, se utiliza la información reportada por la EPA que presenta dichas relaciones. En la Tabla 10 se presentan los puntos de corte del ICA, de acuerdo con los efectos sobre la salud reportados por estudios de la EPA.

Figura 22. Logo símbolo del Índice de calidad de aire en Colombia



Fuente: (MAVDT, 2010)

Rangos del índice nacional de calidad del aire

El ICA corresponde a un valor adimensional, que oscila entre 0 y 500. En la Tabla 11 se presentan los rangos cualitativos, los efectos a la salud y el valor del ICA y en Tabla 12 se presentan las acciones preventivas que se deben tener en cuenta, de acuerdo al valor del ICA.

Tabla 10. Puntos de corte del ICA

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h Ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.

(2) Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.

(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (≥301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.

(4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

Fuente: (EPA, 2009)

Cálculo del índice nacional de calidad del aire

El ICA en Colombia es calculado a partir de la Ecuación 24, que corresponde a la metodología utilizada por la EPA para el cálculo del AQI.

Ecuación 24.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

I_p = Índice para el contaminante p

C_p = Concentración medida para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p

I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}

Tabla 11. Efectos a la salud de acuerdo con el rango y valor del Índice de Calidad del Aire

ICA	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm	PM10 24h µg/m ³	PM2.5 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0 – 50 Buena	Ninguno		Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	
51-100 Moderada	Individuos no sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios		Posibles síntomas respiratorios en individuos no sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Posibles síntomas respiratorios en individuos no sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Ninguno	Ninguno	
101 – 150 Dañina a la salud para grupos sensibles	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas y molestias respiratorias en niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias, como asma		Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores	Incremento de la probabilidad de reducir la tolerancia al ejercicio debido al aumento de los síntomas cardiovasculares, tal como, dolores de pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y dificultad al respirar en personas con asma	
151 – 200 Dañina a la salud	Mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y dificultad para respirar en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria, como asma; posibles efectos respiratorios de la población en general		Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población general	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población general	Reducción de la tolerancia al ejercicio debido al incremento de los síntomas cardiovasculares como dolor de pecho en personas con enfermedad cardiovascular	Incremento de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y jadeo en personas con asma; posible recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	
201 – 300 Muy	Síntomas cada vez más severos y respiración		Aumento significativo en síntomas	Aumento significativo en síntomas	Recrudecimiento significativo de los síntomas	Aumento significativos en síntomas	Incremento de la probabilidad de ocurrencia

ICA	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm	PM10 24h µg/m ³	PM2.5 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
Dañina a la salud	deteriorada probablemente en niños, adultos y personas activas con enfermedad respiratoria, como asma; incremento en la probabilidad de efectos respiratorios en la población en general		respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general	respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general	cardiovasculares, como dolores en el pecho en personas con enfermedades cardiovasculares	respiratorios tales como jadeo y respiración corta en personas con asma; recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares	de síntomas respiratorios; dificultad para respirar en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma
301-500	Efectos respiratorios severos, daños respiratorios en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria como asma; incremento de los efectos respiratorios severos probables en la población en general		Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general	Agravación seria de los síntomas cardiovasculares, tal como dolor de pecho en personas con enfermedades cardiovasculares, deterioro de las actividades enérgicas en la población en general	Síntomas respiratorios severos como jadeo y disminución de la respiración en personas con asma; incremento de la gravedad de enfermedades cardíacas y pulmonares; posibles efectos respiratorios en la población general	Mayor incremento de la probabilidad de síntomas respiratorios y dificultades respiratorias en niños y personas con enfermedades respiratorias como asma

Fuente: (EPA, 2009)

Tabla 12. Acciones preventivas de acuerdo al rango y al valor del Índice de Calidad del Aire

ICA	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm	PM10 24h µg/m ³	PM2.5 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0 - 50 Buena	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
51-100 Moderada			Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio-cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica	Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio-cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica			

ICA	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
			deben reducir la actividad física fuerte o prolongada	deben reducir la actividad física fuerte o prolongada			
101 - 150 Dañina a la salud para grupos sensibles	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir la actividad física al aire libre		Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina deben reducir la actividad física y las fuentes de CO como el tráfico pesado	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire libre	
151 - 200 Dañina a la salud	Niños y adultos activos y personas con enfermedades respiratorias, deben reducir la actividad física prolongada al aire libre, especialmente los niños.		Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre	
201 - 300 Muy Dañina a la salud	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir la actividad física al aire libre; especialmente los niños		Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre; todos los demás deben reducir el esfuerzo al aire libre	Niños y personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir el esfuerzo al aire libre
301-500	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre		Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado; todos los demás deben limitar el esfuerzo	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares no deben estar al aire libre; todos los demás deben evitar el esfuerzo al aire libre	Niños y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir el esfuerzo moderado o pesado al aire libre

Fuente: (EPA, 2009)

Lección 25. Procedimientos para la medición de contaminantes atmosféricos: medición directa, balance de masas, factores de emisión y modelos por computador.

Medición directa.

La medición directa se realiza a través de procedimientos donde se recolecta una muestra, usando equipos muestreadores, como el descrito en la Tabla 9, para su posterior análisis o mediante el uso de analizadores instrumentales denominados analizadores en tiempo real. El primer procedimiento corresponde a la captura de la muestra en la chimenea o ducto de la fuente, para su posterior análisis en laboratorio. El analizador instrumental es un equipo que mide directamente la concentración de los contaminantes en la chimenea o ducto de emisión y reporta los valores de las emisiones de manera inmediata. Este equipo se puede usar de manera eventual o permanente. Cuando se emplea de manera permanente el analizador forma parte de un sistema que recibe el nombre de sistema de monitoreo continuo de emisiones - CEMS por sus siglas en inglés. Únicamente serán válidos aquellos resultados obtenidos mediante la aplicación de analizadores instrumentales, cuando el método aplicado permita su uso, caso en el que se deberán cumplir todas las especificaciones del método (MAVDT, 2010).

Balance de masas

El balance de masas hace referencia a la cuantificación de emisiones por balance de materia y energía. En ocasiones, por las características del proceso industrial, es el único método para la cuantificación de emisiones que se puede emplear, por ejemplo, en las actividades industriales que manufacturan o emplean en sus procesos compuestos orgánicos volátiles, especialmente cuando las emisiones se producen de manera fugitiva, este procedimiento de evaluación se convierte en la primera alternativa para cuantificar la emisión de contaminantes.

A través de la aplicación del método de balance de masas se representan las entradas y salidas de un sistema con el fin de estimar de manera indirecta la emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, es decir, las emisiones que se producen y pueden cuantificarse durante periodos de tiempo prolongados. El balance de masas es muy utilizado en situaciones donde se presentan reacciones químicas, siendo apropiados en situaciones donde se pierde determinada cantidad de material por liberación a la atmósfera. Para la evaluación de emisiones a través de la utilización de balance de masas, es necesario incluir todo el proceso productivo, el cual está constituido por una o varias operaciones unitarias o procesos unitarios. A su vez, una operación o proceso unitario puede desarrollarse en varias etapas, aunque una sea la más visible y a su vez la más

representativa de ellas o se observe como un único sistema. Por lo anterior, es importante identificar todas las operaciones y sus interrelaciones, con el fin de reflejar fielmente todo lo que ocurre en el proceso, por lo cual se debe esquematizar mediante un diagrama de flujo del proceso. Si las operaciones son complejas, se pueden identificar por separado con el detalle que sea requerido. Durante la identificación de las operaciones unitarias, se deben incluir las operaciones complementarias o de soporte, tales como limpieza, almacenamiento y preparación de tanques, entre otras (MAVDT, 2010).

Los balances de masas se deben utilizar en aquellas actividades o procesos donde un alto porcentaje de los materiales se pierde en el aire, por ejemplo, el contenido de azufre del combustible o la pérdida de solvente en un proceso incontrolado de recubrimiento. Por otra parte, son inapropiados cuando el material es químicamente combinado o consumido en el proceso, o cuando las pérdidas de materiales en la atmósfera representan una pequeña porción, con respecto a los materiales que ingresan al proceso. Por esta razón, los balances de masas no son aplicables para la determinación de material particulado producto de procesos de combustión.

Para estimar la emisión de contaminantes a la atmósfera por medio del método de balance de masas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (MAVDT, 2010):

- ✓ Información general de la fuente fija. Es necesario describir de manera general las actividades productivas que se realizan y obtener la información necesaria para identificar y clasificar la fuente fija.
- ✓ Descripción de las instalaciones. Se requiere una descripción detallada del proceso productivo, incluyendo una explicación clara de las actividades realizadas, lo cual se puede realizar a través de un plano de distribución de planta, de los parámetros de emisión y de las chimeneas, cuando aplique.
- ✓ Información del proceso o procesos que generan emisiones. La información sobre los procesos que generan emisiones debe incluir un diagrama de flujo de cada uno de los procesos que está siendo analizado, así como su descripción. Se deben incluir los equipos de control de emisiones al aire que se utilizan en el proceso. Adicionalmente, se deben incluir variables del proceso como materias primas e insumos utilizados, la máxima tasa de operación de los equipos, las tasas máximas, normal y promedio de operación de los equipos, la caracterización y tasa de alimentación del combustible que utiliza y las horas de operación diarias, semanales y mensuales. En caso tal que el proceso se realice por lotes o cochadas es necesario tener la información sobre la duración y el número de lotes por día, por semana o por mes.
- ✓ Descripción de la fuente o fuentes de emisión. Se debe realizar una descripción detallada la fuente de emisión, comenzando por las generalidades del sector, según referencias bibliográficas nacionales o internacionales, incluyendo una

explicación detallada de la fuente de emisión, teniendo en cuenta la tecnología, las características de operación y mantenimiento de acuerdo con lo establecido en la ficha o manuales técnicos de los equipos. Además, es necesario explicar los procesos productivos y los mecanismos mediante los cuales se generan las emisiones.

La estimación de emisiones por el método de balance de masas se debe desarrollar con la misma rigurosidad que demanda una medición directa. En este sentido, un balance de masas se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que debe existir entre los insumos de entrada y los productos, subproductos y residuos de salida. El balance de masas es aplicable tanto a un proceso como a cada una de las operaciones unitarias, por lo tanto se debe tener en cuenta lo siguiente (MAVDT, 2010):

- ✓ Identificar las operaciones unitarias, que originan cambios o transformaciones en las propiedades físicas de los materiales.
- ✓ Identificar las operaciones unitarias, que originan cambios o transformaciones por medio de reacciones químicas.
- ✓ Establecer los límites físicos de los procesos unitarios, cuando las líneas de producción están bien diferenciadas, o imaginarios, cuando existen varias líneas en un mismo espacio cerrado.
- ✓ Establecer los límites de las operaciones unitarias, de una manera similar a la delimitación de los procesos unitarios.
- ✓ Identificar las entradas y salidas del proceso, lo cual se debe realizar a través de un diagrama de flujo del mismo. En sistemas de producción complejos, donde existan varios procesos independientes, se puede preparar un diagrama general con todos los procesos, cada uno representado por un bloque y preparar diagramas de flujo para cada proceso individual, indicando en detalle sus operaciones unitarias, procesos unitarios y los equipos utilizados en cada uno de ellos.
- ✓ Cuantificar las entradas o insumos, teniendo en cuenta que todos los insumos que entran a un proceso u operación, salen como productos o como residuos, vertimientos o emisiones. Los insumos de entrada a un proceso u operación unitaria pueden incluir además de materias primas, materiales reciclados, productos químicos, agua y aire, entre otros.
- ✓ Cuantificar las salidas como productos, subproductos o residuos.
- ✓ Realizar el balance de masas, teniendo en cuenta que la suma de todas las masas que entran en un proceso u operación, debe ser igual a la suma de todas las masas que salen de dicho proceso u operación.

Factores de emisión.

Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad o del proceso, tales como el consumo de energía, el

consumo de materia prima, el consumo de combustible, las unidades de producción, el calendario de operación, el número de dispositivos o las características de estos, entre otros. El uso de los factores de emisión es apropiado cuando los materiales que se emplean son consumidos o combinados químicamente en los procesos o cuando se producen bajas pérdidas de material por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en el proceso. Los factores de emisión representan valores promedio de un rango de tasas de emisión, es decir, que en algunos casos las emisiones de la actividad variarán con respecto al resultado del factor de emisión, dependiendo de los valores que se utilizan para el análisis (MAVDT, 2010).

Modelos por computador

Es posible aplicar más de un procedimiento de medición con el fin de determinar la confiabilidad de los valores obtenidos durante la estimación de las emisiones contaminantes. En este sentido, los modelos computarizados realizan cuantificación de la emisión en línea o en tiempo real; sin embargo, por tal condición no se deben confundir con los sistemas de monitoreo continuo de emisiones, pues estos sistemas están orientados a monitorear continuamente una o varias variables que están asociadas a la emisión de uno o varios contaminantes, estimando o determinando de manera indirecta su emisión.

Estos sistemas deben calibrarse periódicamente comparando resultados de la medición directa del contaminante y la variable de control del proceso, en cualquier caso se debe demostrar la certeza de la información para aceptar el método. Estos sistemas reciben el nombre de sistemas de predicción continua de la emisión de contaminantes – SPCEC - y deben ser usados en procesos donde existe un conocimiento y control de los mismos. No es aplicable a las actividades de incineración de residuos o cremación, donde el material introducido cambia constantemente. Los modelos computarizados pueden ser aplicados para la determinación de la concentración de los contaminantes por medio de factores de emisión, balance de masas o simultáneamente para estos dos procedimientos (MAVDT, 2010).

CAPÍTULO 6. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA MEDICIÓN DE EMISIONES, MEDICIÓN DE RUIDO, MEDICIÓN DE OLORES Y, LEGISLACIÓN AMBIENTAL.

Lección 26. Procedimientos de evaluación de emisiones utilizados en Colombia.

En Colombia el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial estableció el “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas” dando respuesta a lo estipulado en la Resolución 909 de 2008. En dicho protocolo se establecen los procedimientos de evaluación de emisiones los cuales incluyen medición directa, balance de masas y factores de emisión. Durante una evaluación de emisiones contaminantes, se puede usar una única metodología o se pueden utilizar dos o más de ellas para determinar la confiabilidad de la información obtenida en la cuantificación de las emisiones.

Para mayor información visitar el siguiente sitio web:

<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=700>

Las emisiones de contaminantes atmosféricos varían de una fuente a otra, por lo cual es necesario evaluar inicialmente la información disponible para la evaluación de emisiones atmosféricas. Esta información incluye las variables de diseño, operación y mantenimiento de los procesos y de los sistemas de control de emisiones. Para determinar el adecuado funcionamiento de los sistemas de control de emisiones, por ejemplo, se debe utilizar la información de las variables de operación como la presión a través del lavador en el caso de un lavador de gases; el área de la placa, el voltaje y la corriente de operación en el caso de los precipitadores electrostáticos; y, la razón de alimentación alcalina en un lavador de gases ácidos, entre otros (MAVDT, 2010).

Adicional a la variación que se presenta en las emisiones atmosféricas de una fuente a otra, una misma fuente puede presentar variaciones importantes en las propiedades y características de sus emisiones. Para evaluar estas variaciones en el corto plazo, se necesita el desarrollo de varias pruebas y evaluaciones de las emisiones, incluso puede requerirse el desarrollo de monitoreo continuo en la fuente. Generalmente, la información que proporciona un balance de masas no es suficiente para analizar la variabilidad de las emisiones en el corto tiempo, ya que los datos proporcionados por el balance de masas corresponden a evaluaciones que se realizan con intervalos de tiempo cortos y adicionalmente se promedian las emisiones contaminantes. Por el contrario, una de las ventajas de la aplicación de balance de masas es la aproximación a valores reales de

los promedios de las emisiones en los casos en los que el análisis de las fluctuaciones se presenta en un largo periodo de tiempo (MAVDT, 2010).

La Resolución 909 de 2008 estipula que en Colombia el cumplimiento de los estándares de calidad de aire se debe determinar mediante medición directa de las emisiones a través del ducto o chimenea que se debe construir en cada fuente fija puntual. En aquellos casos en que por las condiciones físicas de los equipos que hacen parte del proceso que genera la emisión de los contaminantes al aire no sea posible la construcción de un ducto para la descarga de los contaminantes o cuando la construcción del ducto no permita contar con las condiciones para realizar la medición directa se debe aplicar balance de masas. En el caso que no se cuente con la información necesaria para realizar el cálculo de las emisiones por balance de masas y que se demuestre técnicamente que dicha información no se pueda hallar para el desarrollo de la evaluación de emisiones, se debe aplicar factores de emisión.

Para el desarrollo de la medición directa para cada uno de los contaminantes atmosféricos que genere una fuente fija, de acuerdo con las características de las emisiones y del ducto de salida o chimenea, en Colombia se adoptaron los métodos promulgados en el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos – CFR; algunos de dichos métodos se listan en la Tabla 13, el listado completo se puede consultar en el “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas”.

Tabla 13. Métodos para la evaluación de emisiones contaminantes

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Método 1	Determinación del punto y velocidad de toma de muestra para fuentes fijas
Método 1A	Determinación del punto y velocidad de toma de muestra para fuentes fijas conductos o chimeneas pequeñas
Método 2	Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica de gases en chimenea (Tubo Pitot tipo S)
Método 2A	Medición directa del volumen de gas a través de tuberías o ductos pequeños
Método 2B	Determinación de la tasa volumétrica de flujo del gas procedente de incineradores de vapor de gasolina
Método 2C	Determinación de la velocidad y tasa de flujo volumétrica del gas en ductos o chimeneas pequeñas (Tubo Pitot estándar)
Método 4	Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea
Método 5	Determinación de las emisiones de material particulado en fuentes fijas
Método 6	Determinación de las emisiones de dióxido de azufre en fuentes fijas
Método 7	Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas

Fuente: (MAVDT, 2010)

Teniendo en cuenta las características de la fuente fija o actividad que se requiera monitorear, existen algunas consideraciones que deben observarse, especialmente en lo relacionado con volúmenes, tiempos mínimos de medición y otras consideraciones para la toma de la muestra; algunas de dichas consideraciones se listan en la Tabla 14, el listado completo se puede consultar en el “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas”. Estas consideraciones deben ser tenidas en cuenta durante la realización de las mediciones directas ya que serán evaluadas como criterios de validación de la medición, durante el proceso de revisión de la evaluación de emisiones por medición directa desarrollado por la correspondiente autoridad ambiental.

Algunas consideraciones especiales establecidas para la medición de contaminantes atmosféricos son que la evaluación de emisiones atmosféricas mediante medición directa debe comenzar como mínimo 30 minutos después de iniciada la operación del proceso o instalación y debe finalizar antes que se detenga la operación del mismo; y, que las pruebas deben ser realizadas bajo condiciones de operación representativas de la fuente fija es decir que se realice bajo condiciones de operación iguales o superiores al 90% de su operación normal. El “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas” contempla otra serie de consideraciones que pueden ser consultadas en él.

Tabla 14. Volúmenes, tiempos mínimos de medición y otras consideraciones para la toma de la muestra por actividad

ACTIVIDAD	CONTAMINANTE	MÉTODO DE MONITOREO	CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRA
Producción de ácido nítrico	NO _x	Referencia: 1, 2, 3, 4 y 7; alternativos: 7A, 7B, 7C y 7D	Tiempo mínimo de medición: 60 minutos; caudal: Método 7C - entre 0,014 y 0,018 cfm
Producción de ácido clorhídrico	HCl	Referencia: 1, 2 y 26A	Tiempo mínimo de medición: 60 minutos; volumen mínimo de muestra: 0,85 dscm o 30 dscf

Fuente: (MAVDT, 2010)

Instalaciones necesarias para realizar mediciones directas

Con el fin de garantizar que los resultados obtenidos mediante medición directa puedan ser comparados con los límites máximos permisibles establecidos para las fuentes fijas, se debe tener en cuenta que además de seguir los procedimientos establecidos en los métodos, contar con personal profesional y técnicos idóneos, controlar las variables del

proceso, se requiere contar con instalaciones físicas que permitan realizar las mediciones directas. Para tal fin, la actividad objeto de control debe suministrar como mínimo puertos de toma de muestra adecuados para los métodos aplicables a la fuente fija lo que incluye (MAVDT, 2010):

- ✓ En los casos que existan sistemas de control de emisiones, estos deben estar instalados, de manera tal que el flujo y la emisión de contaminantes pueda ser determinada con los métodos y procedimientos aplicables y contar con un ducto o chimenea libre de flujo ciclónico durante la realización de las mediciones directas, de acuerdo con lo establecido en los métodos y procedimientos de medición aplicables.
- Plataformas y acceso seguro para realizar la toma de muestra.
- Dispositivos y aditamentos necesarios para la toma de muestra y análisis.

Es importante mencionar que todo encargado de realizar la toma de muestras, análisis de laboratorio y medición directa en campo de emisiones para verificar el cumplimiento de los estándares admisibles de contaminantes al aire, debe estar acreditado de conformidad con lo establecido en el Decreto 1600 de 1994, modificado por el Decreto 2570 de 2006 y la Resolución 0292 de 2006 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; además, la Resolución 909 de 2008 estipula que las autoridades ambientales podrán aceptar los resultados de análisis que provengan de laboratorios extranjeros acreditados por otro organismo de acreditación.

Para la determinación de emisiones contaminantes por medio de balance de masas, adicional a lo definido en el “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas”, se debe tener en cuenta lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US-EPA, mientras que el Ministerio de Ambiental Vivienda y Desarrollo Territorial adopta el “Manual de Inventario de Fuentes Puntuales del Protocolo Nacional para el Inventario de Emisiones”, el cual está en etapa borrador a la fecha de elaboración de la presente lección y se puede consultar en la página web de dicha entidad (MAVDT, 2010).

En lo relacionado con factores de emisión, en Colombia se tiene establecido que se utilizarán aquellos estipulados en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, US-EPA 1995a, el cual contiene los factores de emisión definidos en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades. Los factores de emisión que se incluyen en este documento se agrupan en quince capítulos, cada capítulo cuenta con secciones, subsecciones, y sub-subsecciones inclusive, para exponer los factores de emisión por fuentes o procesos industriales específicos (MAVDT, 2010).

Para mayor Información relacionada con factores de emisión, consultar los siguientes sitios: <http://www.epa.gov/ttn/chief/efpac/index.html>
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>

Lección 27. Monitoreo de la contaminación acústica: mapas de ruido, mediciones de ruido y ruido ambiental.

Mapas de ruido

Un mapa de ruido es la representación de los datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indica la superación de un valor límite, el número de personas afectadas en una zona dada y el número de viviendas, centros educativos y hospitales expuestos a determinados valores de ese indicador en dicha zona. Los mapas de ruido son utilizados como documento básico para conocer la realidad del ruido ambiental en la población y poder desarrollar planes, programas y proyectos preventivos, correctivos o de seguimiento. Igualmente, estos se utilizan como soporte e insumo técnico en la elaboración, desarrollo y actualización de los planes de ordenamiento territorial. Los mapas de ruido tienen entre otros los siguientes objetivos (MAVDT, 2006):

- ✓ Permitir la evaluación ambiental de cada municipio en lo referente a contaminación por ruido.
- ✓ Permitir el pronóstico global con respecto a las tendencias de los niveles de ruido.
- ✓ Posibilitar la adopción de planes de acción en materia de contaminación por ruido y en general de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.
- ✓ Establecer las condiciones en las cuales se encuentran los niveles de ruido a nivel nacional.

Los mapas de ruido deben contener como mínimo la siguiente información:

- ✓ Valor de los niveles de ruido ambiental existentes en cada una de las áreas evaluadas.
- ✓ Delimitación de zonas afectadas de contaminación por ruido.
- ✓ Especificación de la altura a la cual se hace la representación gráfica.

En Colombia la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, establece que corresponde a las autoridades ambientales, a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, y el artículo 13 de la Ley 768 de 2002, elaborar, revisar y actualizar en los municipios de su jurisdicción con poblaciones mayores de cien mil habitantes, mapas de ruido ambiental para aquellas áreas que sean consideradas como prioritarias. Los estudios y mapas de ruido de los municipios mayores de cien mil 100.000 habitantes se deben revisar y actualizar periódicamente cada cuatro años. El anexo 5 de dicha resolución indica las especificaciones que se deben seguir en la elaboración de los mapas de ruido (MAVDT, 2006).

Mediciones de ruido y ruido ambiental

La Resolución 627 de 2006 del MAVDT establece las unidades de medida de la presión sonora, los parámetros de medida y el intervalo unitario de tiempo de medida.

La Resolución 627 de 2006 puede ser consultada en la siguiente dirección:
[http://www.unad.edu.co/ambiental/images/stories/documentos/NORMATIVIDAD_APLICABLE/RESOLUCIN_0627 - 2006.pdf](http://www.unad.edu.co/ambiental/images/stories/documentos/NORMATIVIDAD_APLICABLE/RESOLUCIN_0627_-_2006.pdf)

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC -cuenta con normas relacionadas con la medición del ruido; éstas se listan en la Tabla 15.

Tabla 15. Normas técnicas colombianas relacionadas con la medición de ruido

NORMA	DESCRIPCIÓN
NTC 3520	Descripción y medición del ruido ambiental. Obtención de datos relativos al uso en campo.
NTC 3521	Descripción y medición del ruido ambiental. Aplicación de los límites de ruido.
NTC 3522	Descripción y medición del ruido ambiental. Cantidades básicas y procedimientos.
NTC 4653	Directrices para la medición de la exposición en ambientes de trabajo.

Fuente: Elaborada por el autor a partir de información del ICONTEC

Lección 28. Técnicas y métodos internacionales para la medición de olores.

La nariz humana, asistida por dispositivos escogidos o procedimientos prescritos constituye el sistema básico para evaluar olores. En general, las determinaciones de los olores se realizan por medio de grupos formados por 2 a 15 personas adiestradas,

sometidas a determinadas concentraciones de sustancias olorosas. Las mediciones de los olores se dividen en dos categorías generales: determinación de la concentración umbral de las sustancias olorosas y establecimiento e intensidad de los olores atmosféricos. Una posible tercera categoría sería el trazado o rastreo de un olor determinado, presente en la atmósfera hasta llegar a su punto de origen (Wark, 1990).

La primera categoría implica principalmente olores puros, esto es, el olor de una sola sustancia. En la segunda categoría, los olores de diversas sustancias presentes en la atmósfera se pueden combinar para dar la impresión de un solo olor. La capacidad de discriminación puede ser extremadamente importante en esta categoría.

Existen cuatro atributos del sentido del olfato importantes en las mediciones de olores; éstos son(Wark, 1990):

- ✓ Intensidad. Se define como la magnitud de la sensación percibida y representa alguna indicación, numérica o verbal, de la fuerza del olor. Un aumento gradual de la intensidad se detecta fácilmente a pesar de que algunas personas se pueden fatigar con el olor.
- ✓ Capacidad de penetración o capacidad de detección. Está definida como el cambio por dilución de la magnitud o la aceptabilidad; también se conoce como la relación potencial del olor a la relación de dilución del umbral. Estas representan esencialmente medidas de la capacidad de un olor de penetrar en un gran volumen de aire de dilución y seguir poseyendo una intensidad detectable. Un olor penetrante, como el que podría ser el resultado de mercaptanos mezclado con proteínas en descomposición, tendrá la tendencia a esparcirse en todas las direcciones.
- ✓ Calidad. Es la similaridad de la sensación olorosa, naturaleza química o agrupamiento funcional de las sustancias. La calidad describe las características de los olores en términos de la asociación con un odorante conocido, como el café o las cebollas, o asociando, por analogía, un olor conocido con un odorante desconocido.
- ✓ Aceptabilidad. Se define como el grado de agrado o desagrado de la sensación olorosa. Ésta depende en sumo grado de las experiencias de las personas que efectúan la evaluación del olor. La asociación con determinados acontecimientos puede dar por resultado que el olor se considere como agradable o desagradable.

Con la excepción de la calidad del olor, los atributos anteriores se evalúan haciendo referencia a escalas subjetivas con un número variable de puntos. Una escala de uso común tiene 6 puntos: 0 no hay percepción; 1 percepción muy débil; 2 percepción débil; 3 fácil percepción; 4 fuerte y; 5 percepción irresistible.

Se han usado escalas de cuatro y nueve puntos; por otro lado, se ha encontrado que la capacidad de reproducibilidad de las valoraciones de los olores disminuye rápidamente si se utiliza una escala con más de diez puntos (Wark, 1990).

Existe una correlación entre los atributos del sentido del olfato y las propiedades de los olores; dicha correlación se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Correlación entre los atributos del sentido del olfato y las propiedades de los olores

ATRIBUTO DEL SENTIDO DEL OLFATO	PROPIEDADES DE LOS OLORES
Intensidad	Concentración, volatilidad, solubilidad en grasas o en agua
Capacidad de penetración	Concentración, naturaleza química
Calidad	Forma y tamaño molecular, espectro infrarrojo o Raman, naturaleza química o agrupamiento funcional
Aceptabilidad	-

Fuente: (Wark, 1990)

La relación generalmente aceptada entre la intensidad del olor y la concentración del contaminante oloroso, está dada por la ecuación de Weber- Fechner, la cual se presenta a continuación.

$$\text{Ecuación 25.} \quad P = K \log S$$

En la anterior ecuación, P es la magnitud de la reacción sensorial o intensidad del olor, K es una constante y S es la magnitud del estímulo o la concentración del olor. Se ha observado que los valores de K varían de 0.3 a 0.5.

Una relación similar conocida como la ley de la fuerza psicofísica está dada por la Ecuación 26.

$$\text{Ecuación 26.} \quad P = K_2 \log S^n$$

En la Ecuación 26 K_2 y n son constantes específicas a cada odorante y se determinan experimentalmente; el valor de n varía, generalmente, entre 0.15 y 0.8 (Wark, 1990).

Por medio del atributo sensorial de la capacidad de penetración se elimina hábilmente el problema de medir odorantes de una manera similar al sistema olfatorio humano y a concentraciones que puedan ser detectadas por éste. Todas éstas mediciones implican la

determinación del número de diluciones de una muestra de un gas oloroso requeridas para volverlo inodoro. Entonces, el umbral del olor se expresa no en términos de la concentración del odorante sino más bien en unidades subjetivas, tales como umbral, unidades de olor o dilución. Por tanto, la fuerza relativa del olor se determina de manera tal que los olores más fuertes requieran un mayor número de diluciones con aire libre de olores a fin de llevar el gas oloroso al umbral de detección de los olores (Wark, 1990).

El método de dilución con jeringa, adoptado en el procedimiento ASTM D 1391-57 ha recibido atención considerable. Una muestra del gas cuyo olor se ha de medir, se diluye con aire carente de olor hasta que se alcanza una dilución en la que se puede apenas percibir el olor, la relación entre el volumen total de esta mezcla diluida y el volumen de la muestra original representa una medida de la concentración del olor en la muestra original. La muestra diluida del gas se puede inyectar directamente en las ventanillas de la nariz utilizando una jeringa especialmente diseñada (Wark, 1990).

La presentación y control de los estímulos y los cambios en el estado del odorante en la colección y transporte de las muestras constituyen los errores principales en las mediciones del umbral. Estos errores se introducen por la adsorción sobre los equipos colectores y los efectos de la temperatura y condensación sobre los odorantes. Las evaluaciones de muestras con un contenido de humedad alto o con un punto de rocío elevado resultan ser especialmente poco confiables debido a los efectos de la temperatura y la condensación.

Como fundamento de todos los métodos de determinación del umbral se tiene la suposición de que cualquier odorante en la atmósfera que produce una sensación positiva de olor, es indeseable. Parece ser que el pronóstico del control de malos olores es la eliminación de odorantes que producen una reacción indeseable al olor, y no cualquier reacción. Por tanto, es mejor dirigir las mediciones de umbral a la determinación del umbral molesto y no el umbral de intensidad (Wark, 1990).

Información relacionada con “Técnicas y métodos internacionales para la medición de olores” puede ser consultada en los siguientes sitios:

http://www.environment.nsw.gov.au/mao/odourcontrol.htm#measuring_odours
<http://www.cschi.cz/odour/files/world/Odour%20Impacts%20Final.pdf>

Lección 29. Legislación ambiental internacional asociada con contaminantes atmosféricos.

Legislación internacional relacionada con calidad de aire

Estados Unidos, a través de la EPA, cuenta con una legislación de gran trayectoria en contaminación del aire, desde la aparición del Acta de Aire Limpio en 1970, y la posterior enmienda realizada en 1990. Toda la reglamentación ambiental de los Estados Unidos se encuentra en el Código Federal de Regulaciones - CFR, es decir, existe una sola fuente de información que es de fácil consulta. De igual manera Japón tomó el mismo rumbo trazando normas de contaminación del aire en la década de 1970, y desde entonces ha elaborado varias enmiendas a dicha regulación.

Por otro lado, la Unión Europea estableció inicialmente diversas directrices para fuentes de emisión y a contaminantes específicos, que se encontraban en diferentes documentos, las cuales se definían para el sector que se estaba reglamentando. Posteriormente, en el año 1996, la Unión Europea buscó unificar en un solo documento las diferentes directrices relacionadas con la calidad del aire y la contaminación en lo que se denomina la Directiva de prevención y control integrados de la contaminación – IPPC por su sigla en inglés; dicha directiva integró los controles existentes para la contaminación causada por las industrias, es decir, incluyó los contaminantes atmosféricos, las aguas residuales y los residuos sólidos.

En la Tabla 17 se presenta un consolidado de la reglamentación para fuentes fijas establecida en los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón.

Tabla 17. Reglamentación sobre calidad del aire, Estados Unidos y Japón

ESTADOS UNIDOS		
2000 – Límite para Bióxido de azufre y el sistema de mercadeo (Fase II)	1995 – Se introduce el límite para Bióxido de azufre y el sistema de mercadeo (Fase I)	1970 – Acta de Aire Limpio, Normas nacionales de calidad del aire
1997 – Revisión del acta de aire limpio, en particular normas de calidad del aire para: ozono, CO y Material Particulado	1990 – Revisión del acta de aire limpio, para tratar problemas de lluvia ácida, ozono troposférico al nivel del suelo y tóxicos del aire	

EUROPA		
2003 – 4ª Directiva hija, asigna valores objetivos para contaminantes PAH	1999 – 1ª directiva hija. Límites de calidad del aire para: SO ₂ , NO ₂ , NO _x , PM ₁₀ y plomo.	1994 – Directiva que limita las emisiones de COVs por plantas de distribución y almacenamiento.
2002 – 3ª Directiva hija, asigna valores objetivo para el ozono	1999 – Contenido de Azufre en combustibles líquidos	1989 – Define los valores límites de emisión para plantas de incineración de residuos municipales
2001 – Directiva límites de emisión nacional techo para: SO ₂ , NO _x , COVs y NH ₃	1998 – Protocolo para metales pesados	1988 – Directiva para grandes plantas de combustión, define límites de emisión para SO ₂ , NO _x y Material Particulado.
2001 – Revisión de la directiva expedida en 1988	1996 – Directiva IPPC	1988 – UNECE control de emisiones de óxidos de nitrógeno
2000 – Directiva que define límites para la incineración de residuos	1996 – Directiva marco de calidad del aire, como estrategia para la calidad del aire ambiente	1985 – 1er protocolo UNECE para reducción de emisiones de Azufre
2000 – Control de sustancias que agotan el ozono	1994 – 2º protocolo UNECE para el control de azufre	
JAPÓN		
1999 – Ley sobre liberación de sustancias químicas específicas y la mejora de su manejo	1998 – Medidas normativas contra contaminantes del aire emitidos por industrias e instalaciones comerciales	1974 – Ley de control de contaminación del aire. Normas de calidad del aire para SO ₂ , NO ₂ , MP, O ₃ y CO
1999 – Ley de medidas especiales relacionadas con las Dioxinas	1997 – Objetivo, reducir la emisión de Dioxinas para el 2002, al 10% de la emisión total calculada en 1997	1968 – Ley de control de la contaminación del aire. Normas de emisión para instalaciones industriales y SO _x , NO _x , y hollín

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

Para citar un ejemplo en América Latina, específicamente el caso de las normas de México en las que se establecen: los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y,

los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, entre otras.

Para consultar la normativa internacional relacionada con calidad del aire se pueden visitar los siguientes sitios:

[http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes_copy\(1\).aspx](http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes_copy(1).aspx)

<http://www.epa.gov/lawsregs/laws/caa.html>

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l28045_es.htm

Legislación ruido ambiental

En lo relacionado con el ruido ambiental, Estados Unidos cuenta con la Ley de Control de Ruido desde 1972, la Ley de Comunidades silencioso desde 1978 y en 1981 se designó a los gobiernos estatales la competencia de controlar los problemas del ruido.

En la Unión Europea se cuenta con el libro verde de lucha contra el ruido donde se plantean dos ejes de intervención en la lucha contra este contaminante: la política general de lucha contra el ruido y la reducción de las emisiones en la fuente. Adicionalmente, en el año 2002 se emitió la directiva 2002/49/CE que tiene por objeto combatir el ruido que percibe la población en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

Para citar un ejemplo en América Latina, se saca a colación el caso de las normas de México emitidas para establecer: los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición, los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de fuentes fijas y el método de medición y, los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las motocicletas y triciclos motorizados nuevos en planta y su método de medición.

Para consultar la normativa internacional relacionada con ruido ambiental se pueden visitar los siguientes sitios:

<http://www.epa.gov/aboutepa/history/topics/noise/index.html>

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/noise_pollution/l21224_es.htm

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/noise_pollution/l21180_es.htm

[http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes_copy\(1\).aspx](http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes_copy(1).aspx)

Para consultar la normativa internacional relacionada con olores se pueden visitar el siguiente sitio:

<http://www.odournet.com/legislation.html>

Lección 30. Legislación ambiental nacional y convenios internacionales relacionados con contaminantes atmosféricos.

Legislación ambiental nacional

En la Tabla 18 se presenta de forma resumida la legislación colombiana relacionada con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de contaminantes atmosféricos y otros aspectos en general relacionados con este campo.

Tabla 18. Legislación colombiana relacionada con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de contaminantes a la atmósfera.

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 02 de 1982/Aplica a fuentes fijas	Este Decreto hizo especial énfasis en las emisiones de material particulado de calderas operadas con carbón, fábricas de cemento, industrias metalúrgicas, plantas productoras de asfalto y mezclas asfálticas. De igual manera, consideró las emisiones de óxidos de azufre en plantas de ácido sulfúrico y óxidos de nitrógeno en plantas de ácido nítrico. Este fue actualizado y complementado a través de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT.

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 948 de 1995/ Aplica en forma general a la calidad del aire	Este Decreto establece el reglamento de protección y control de la calidad del aire. Incluye la definición de las acciones y los mecanismos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire.
Decreto 2107 de 1995/Aplica tanto a fuente fijas como móviles	<p>Este Decreto modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995; entre otras disposiciones. Cabe resaltar para fuentes móviles lo siguiente:</p> <p>Artículo 38. Emisiones de Vehículos Diesel. Se prohíben las emisiones visibles de contaminantes en vehículos activados por Diesel, conocido también como ACPM, que presenten una opacidad superior a la establecida en las normas de emisión.</p> <p>Artículo 92. Evaluación de emisiones de vehículos automotores. El Ministerio del Medio Ambiente establecerá los requisitos técnicos y condiciones que deberán cumplir los centros de diagnóstico oficiales o particulares para efectuar la verificación de emisiones de fuentes móviles. Dichos centros deberán contar con la dotación completa de los aparatos exigidos de medición y diagnóstico ambiental, en correcto estado de funcionamiento, y con personal capacitado para su operación, en la fecha, que mediante resolución, establezca el Ministerio del Medio Ambiente.</p> <p>Cabe resaltar para fuentes fijas lo siguiente:</p> <p>Artículo 25. Prohibición del uso de crudos pesados. Se prohíbe el uso de crudos pesados con contenidos de azufre superiores a 1.7% en peso, como combustibles en calderas u hornos de establecimientos de carácter comercial, industrial o de servicios, a partir del 1 de enero del año 2001.</p>
Resolución 898 de	En ésta se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1995/Aplica tanto a fuentes fijas como móviles	comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Esta resolución establece los requisitos de calidad para las gasolinas, diesel, combustóleo, carbón mineral y emulsiones o suspensiones de combustibles pesados; además, estableció fechas para dar inicio a la distribución de los combustibles con los requisitos de calidad estipulados en ella.
Resolución 005 de 1996/Aplica fuentes fijas	La Resolución reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 909 de 1996	Esta Resolución modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996.
Decreto 1228 de 1997/Aplica a fuentes móviles	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire. El Decreto 1228 de 1997 modifica específicamente el inciso primero del artículo 91 cuyo texto quedo de la siguiente forma: Artículo 91. Certificación del cumplimiento de normas de emisión para vehículos automotores. Para la importación de vehículos automotores CBU (Completed Built Up) y de material CKD (Completed Knock Down) para el ensamble de vehículos el Instituto Colombiano de Comercio Exterior –Incomex-, exigirá a los importadores la presentación del formulario de registro de importación, acompañado del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica el cual deberá contar con el visto bueno del Ministerio del Medio Ambiente. Para obtener el visto bueno respectivo, los importadores allegarán al Ministerio del Medio Ambiente dicho certificado, que deberá acreditar entre otros aspectos que los vehículos automotores que se importen o ensamblen cumplen con las normas de emisión por peso vehicular establecidas por este Ministerio. Los requisitos y condiciones del mismo, serán determinados por el Ministerio del Medio Ambiente.

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 1697 de 1997/Aplica a fuentes fijas	El Decreto 1697 modifica el Decreto 948 de 1995 y establece que las calderas u hornos que utilicen gas natural o GLP no requerirán permiso de emisión atmosférica. Además, modifica el Artículo 24. “Combustión de aceites lubricantes de desecho” y el artículo 40. “Contenido de Plomo, Azufre y otros contaminantes en los combustibles”.
Resolución 619 de 1997/Aplica a fuentes fijas	Por el cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas. Esta resolución establece que industrias, obras, actividades o servicios requieren permiso de emisión atmosférica.
Resolución 623 de 1998/Aplica a fuentes fijas	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 de 1995 que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna. En este caso, y para fuentes fijas, cabe resaltar que se cambiaron los requisitos de calidad del carbón mineral o sus mezclas para su utilización como combustible. No presenta modificaciones en lo referente a fuentes móviles
Ley 769 de 2002/Aplica a fuentes móviles	El Código nacional de tránsito establece disposiciones relacionadas con emisiones y ruido. En el artículo 28 se instituye que para que un vehículo pueda transitar por el territorio nacional debe garantizar, entre otros requisitos, el cumplimiento de las normas de emisión de gases que establezcan las autoridades ambientales. El capítulo IX está dedicado a la protección ambiental lo que incluye disposiciones sobre los niveles permisibles de emisión de fuentes móviles y normas para dispositivos sonoros.
Resolución 886 de 2004/Aplica a fuentes fijas	Por el cual se rige la operación y mantenimiento de incineradores y hornos crematorios.

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 979 de 2006/Aplica tanto a fuentes fijas como móviles	El Decreto 979 de 2006 modifica los siguientes artículos del Decreto 948 de 1995: 7 “De las clases de normas de calidad del aire o de los distintos niveles periódicos de inmisión”, 10 “De los niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire”, 93 “Medidas para la atención de episodios”, 94 “De los Planes de Contingencia por contaminación atmosférica” y, 108 “Clasificación de áreas-fuente de contaminación”.
Resolución 601 de 2006/ Aplica en forma general a la calidad del aire	En ésta se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente.
Resolución 2120 de 2006/ Aplica en forma general a la calidad del aire	La Resolución tiene por objeto prohibir la importación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono relacionadas en los Grupos II y III del Anexo C del Protocolo de Montreal, y establecer medidas para controlar las importaciones de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en el Grupo I del Anexo C del Protocolo de Montreal.
Resolución 0627 de 2006/Aplica a la emisión de ruido y ruido ambiental	La Resolución establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. El capítulo I incluye las disposiciones generales, el II aborda el tema de emisión de ruido, el III trabaja el ruido ambiental, el IV trata de los equipos de medida y las mediciones y los capítulos V y VI dictan disposiciones sobre la vigilancia y control del cumplimiento de la norma y disposiciones varias, respectivamente.
Resolución 909 de 2008/Aplica a fuentes fijas	En esta resolución se establecen los estándares de emisión admisibles para actividades industriales; se definen las actividades industriales a las cuales aplican los estándares de emisión establecidos y los contaminantes que cada una de las actividades industriales debe

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Resolución 909 de 2008/Aplica a fuentes fijas	<p>monitorear.</p> <p>Además, se establecen los estándares de emisión admisibles para: equipos de combustión externa existentes y nuevos; centrales térmicas existentes y nuevas con capacidad instalada igual o superior a 20 MW; centrales térmicas que utilicen turbinas a gas con capacidad igual o superior a 20 MW; centrales térmicas con capacidad instalada inferior a 20 MW; plantas de cogeneración existentes y nuevas; centrales térmicas nuevas y existentes que utilicen turbinas a gas con capacidad inferior a 20 MW; industrias existentes y nuevas de fabricación de productos textiles; equipos de combustión externa existentes y nuevos que utilicen biomasa como combustible a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 13%; actividades existentes y nuevas de fabricación de productos de la refinación del petróleo por tipo de combustible; industrias de producción de cemento, concreto y agregados; industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla; instalaciones de tratamiento térmico de subproductos de animales; instalaciones donde se realice tratamiento térmico a residuos y/o desechos peligrosos; instalaciones donde se realice tratamiento térmico a residuos no peligrosos; y, hornos crematorios.</p> <p>La resolución establece otras disposiciones relacionadas con: las quemas controladas en áreas rurales; el control a emisiones molestas para establecimientos de comercio y de servicio; la determinación del punto de descarga de la emisión por fuentes fijas; la medición de emisiones para fuentes fijas; los sistemas de control de emisiones; y los convenios de reconversión a tecnologías limpias, entre otros.</p>
Resolución 910 de	En esta Resolución se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres,

NORMA/ APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
2008/Aplica a fuentes móviles	se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995, se reglamentan los requisitos y certificaciones a las que están sujetos los vehículos y demás fuentes móviles, sean importadas o de fabricación nacional, y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 610 de 2010.	Ésta modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.
Resolución 650 de 2010/Aplica en forma general a la calidad del aire	A través de esta Resolución se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. El protocolo establece las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional. Este protocolo está compuesto por dos manuales, que forman parte integral de la resolución: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.
Resolución 651 de 2010/Aplica en forma general a la calidad del aire	Con esta Resolución se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE - como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire; el SISAIRE hace parte del Sistema de Información Ambiental para Colombia SIAC.

Fuente: (MAVDT, 2011)

Las autoridades ambientales regionales han promulgado diferentes normas relacionadas con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de contaminantes atmosféricos; dichas normas rigen en el área de jurisdicción de cada autoridad ambiental. Como ejemplo se presenta, en la Tabla 19, la descripción de la legislación correspondiente al área urbana del Distrito Capital.

Para complementar la información presentada en la Tabla 19 se puede visitar el siguiente sitio:

http://ambientebogota.gov.co/sda/libreria/BLA/norma_menu.php

Tabla 19. Legislación de Bogotá D.C. relacionada con los parámetros, estándares y/o límites de emisión de de contaminantes a la atmósfera.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 1208 de 2003 del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA/ Aplica a fuentes fijas	En esta resolución se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire. Específicamente, se establecen normas de calidad del aire para agentes contaminantes convencionales, como por ejemplo el monóxido de carbono y los óxidos de azufre; define normas de calidad de aire para sustancias peligrosas, como el plomo y el mercurio incluyendo sus compuestos; establece la norma de emisión de contaminantes convencionales para fuentes fijas de combustión externa y para fuentes fijas en procesos productivos; define los parámetros a monitorear en procesos productivos diferentes a procesos de combustión externa; establece el límite máximo de emisión de un predio industrial; indica cómo se determina la altura del punto de descarga; establece el mecanismo de vigilancia y control del cumplimiento de las normas de emisión para fuentes fijas; especifica el contenido de los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas y auditorías; y, define el diligenciamiento del formulario HC1.
Resolución 1908 de 2006 del DAMA/ Aplica a fuentes fijas	Ésta fija los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes fijas en las áreas-fuente de contaminación alta Clase I; y, adopta medidas para prohibir el uso de aceites usados como combustibles en el Distrito Capital, entre otras disposiciones.
Decreto 174 de 2006 de la Alcaldía Mayor/ Aplica tanto a fuentes fijas como móviles	El Decreto adopta medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del Aire en el Distrito Capital. En éste se clasifican a las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por material particulado menor o igual a 10 micras (PM10). Además, se dictan diferentes disposiciones relacionadas con la restricción de circulación en la ciudad de vehículos de transporte público colectivo de pasajeros y de vehículos de transporte de carga de más de cinco toneladas.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 417 de 2006/Aplica a fuentes fijas	Adopta medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el Distrito Capital. En especial, clasifica las localidades de Engativá, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe y a las UPZ 27, 28 y 71 de la Localidad de Suba y la zona que se extiende al occidente de los cerros de suba, hasta el perímetro urbano del Distrito Capital y entre la UPZ 27 y la calle 200, y a la localidad de Bosa y las UPZ 65 y 69 de la localidad de Ciudad Bolívar, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I y, dicta otras disposiciones para dichas áreas fuente.
Resolución 2302 de 2006 del MAVDT/Aplica a fuentes fijas	Esta Resolución le da el carácter de permanente a las medias adoptadas respecto a los estándares establecidos en el artículo Segundo, Parágrafos Primero y Segundo para partículas suspendidas totales, en relación con combustibles sólidos y combustibles líquidos; y a los artículos Primero, Cuarto, Quinto y Sexto que establecen el ordenamiento de actividades relacionadas con el control de emisiones de material particulado, de la Resolución No. 1908 de agosto 29 de 2006 del DAMA.

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

Convenios internacionales

Colombia ha ratificado, a través de leyes, diferentes Convenios Internacionales encaminados a la protección del medio ambiente. En la Tabla 20 se presenta una descripción general de aquellos relacionados con contaminantes atmosféricos y calidad del aire.

Tabla 20. Convenios internacionales ratificados por Colombia relacionados con contaminantes atmosféricos.

CONVENIO/LEY QUE LO RATIFICA	DESCRIPCIÓN
Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono/Ley 30 del 5 de marzo de 1990	Este convenio busca tomar las medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono.

CONVENIO/LEY QUE LO RATIFICA	DESCRIPCIÓN
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático/Ley 164 del 27 de octubre 1994	Su objetivo es establecer las concentraciones atmosféricas de gases efecto invernadero -GEI, a niveles que impidan que las actividades humanas afecten peligrosamente al sistema climático mundial.
Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono/Ley 29 de 1992	<p>Su objetivo es proteger la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar equitativamente el total de emisiones mundiales de las sustancias que la agotan, con el fin de eliminarlas, sobre la base de los adelantos en los conocimientos científicos, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.</p> <p>Colombia también ha ratificado las enmiendas de Londres y Copenhague al Protocolo de Montreal.</p>
Acuerdo para la Creación del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global – IAI/ Ley 304 del 5 de agosto de 1996	El acuerdo tiene como objetivos promover la cooperación regional para la investigación interdisciplinaria sobre aspectos del cambio global relacionados con la tierra, el mar, la atmósfera y el medio ambiente, ciencias sociales y el efecto sobre los ecosistemas y biodiversidad y, mejorar la capacidad científica, técnica e infraestructura de investigación de los países de la región.
Protocolo sobre el Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste – ERFEN/ Ley 295 del 16 de julio de 1996	Este programa busca poder predecir los cambios oceánico-atmosféricos, con la anticipación suficiente para permitir políticas de adaptación o de emergencia frente a variaciones en el rendimiento pesquero, agrícola e industrial y decisiones de mercadeo, manejo de recursos hidrobiológicas y otras.

CONVENIO/LEY QUE LO RATIFICA	DESCRIPCIÓN
Protocolo de Kioto relativo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático/Ley 629 del 27 de diciembre de 2000	Su fin fue promover el objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y dar cumplimiento al Mandato de Berlín, en el cual se acordó iniciar un proceso que permitiera adoptar acciones adecuadas para el periodo posterior al año 2000.
Convenio de estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes – POPs/Ley 994 de 2005, declarada Inexequible por vicios de procedimiento por la Corte Constitucional C 576 de 2006	El Convenio busca que las Partes firmantes identifiquen las existencias, productos, artículos en uso y residuos que contengan o estén contaminados con COP para gestionarlas de manera ambientalmente racional. La eliminación debe hacerse de tal forma que el contenido de COP sea destruido o transformado irreversiblemente, de forma que no se exhiban características de COP, o eliminado de forma ambientalmente racional cuando la destrucción o transformación irreversible no representa la opción medioambiental preferible o su contenido de COP sea bajo.

Fuente: (MAVDT, 2010)

BIBLIOGRAFÍA

1. Bureau Veritas. 2008. Manual para la formación en medio ambiente. Valladolid. Editorial Lex Nova S.A.
2. Canales P, Borquez B & Vega, J. 2007. La contaminación por olores y su regulación en la legislación nacional y extranjera (España y Alemania). Santiago de Chile. Serie Estudios N° 2/2007.
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1982. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire – REDPANAIRE. Informe final 1967-1980. Lima. CEPIS.
4. Dávalos, Eleonora. 2007. La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?. Desarrollo y sociedad, edición 59. Bogotá. Universidad de los Andes.
5. Figueruelo, Juan. 2004. Química física del ambiente y de los procesos medioambientales. Barcelona España. Editorial Reverte.
6. Henry, Glynn. 1999. Ingeniería ambiental. México. Prentice Hall.
7. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 1997. NTC 4247. Gestión ambiental: calidad del aire; características de desempeño y concepto relacionados para los métodos de medición de la calidad del aire. Bogotá D.C. ICONTEC.
8. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 2008. NTC 4248. Gestión ambiental: calidad del aire; presentación de datos sobre la calidad del aire del ambiente en forma alfanumérica. Bogotá D.C. ICONTEC.
9. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá D.C. IDEAM.
10. Instituto Nacional de Ecología. 2005. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
11. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2006. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los al trabajadores ruido. España. Ministerio de trabajo e inmigración.

12. Martínez, E & Díaz Y. 2004. Contaminación atmosférica. Colección Ciencia y Técnica Castilla La Mancha. Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha.
13. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Manual de operación de sistemas de Vigilancia de la calidad del aire. Bogotá D.C. MAVDT.
14. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Protocolo para el control y Vigilancia de la contaminación Atmosférica generada por fuentes Fijas. Bogotá D.C. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible.
15. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Ozono. Bogotá D.C. Unidad Técnica de Ozono - MAVDT.
16. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 601 de 2006. 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Bogotá D.C. MAVDT.
17. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 627 de 2006. 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Bogotá D.C. MAVDT.
18. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 909 de 2008. 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. MAVDT.
19. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. 2001. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Tercera edición. España. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
20. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 948 de 1995. 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá D.C. Ministerio del Medio Ambiente.
21. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Bogotá D.C. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – MAVDT.

22. Ministerio de Minas y Energía. 2006. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Bogotá D.C. Unidad de Planeación Minero Energética e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

23. Ministerio de Minas y Energía. 2005. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá D.C. Unidad de Planeación Minero Energética e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

24. Rey Calero, J. 1990. Método epidemiológico y salud de la comunidad 2ª. Edición. España. Interamericana de España. Mc Graw-Hill.

25. Rico, Favio. 2009. Daños a la salud por contaminación atmosférica. México. Instituto literario. Universidad Autónoma de México.

26. Rodríguez, Héctor. Noviembre de 2006. Sogamoso se ‘ahoga’ con su aire. Periódico Boyacá 7 días.

27. Ruiz, José. 2002. Simulación de la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá. Bogotá D.C. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

28. Sbarato, Dario. 2007. Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera. Córdoba Argentina. Centro de investigación y formación en salud ambiental. Universidad Nacional de Córdoba. Encuentro Grupo Editor.

29. Seoáñez, Mariano. 2002. Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Madrid España. Ediciones Mundiprensa.

30. Wark, Kenneth & Warner, Cecil. 1990. Contaminación del aire, origen y control. México. Limusa & Noriega.

✓ SITIOS WEB:

31. Calidad del aire y salud, Organización Mundial de la Salud, se puede consultar en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>

32. Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS. 2005, disponible en http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/index.html

33. Convención sobre el Cambio Climático, disponible en <http://unfccc.int>

34. Convenio de Estocolmo Sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes – POPs, disponible en <http://chm.pops.int>
35. El protocolo para el control y vigilancia de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, disponible en: http://www.ideam.gov.co:8080/biblio/paginaabierta/Protocolo_fuentes.pdf
36. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. 2005, disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
37. Guías de calidad del aire de la OMS. 2004, disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/fulltext/guiasaire.pdf>
38. Guías para el ruido Urbano. 1999, disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsci/E/fulltext/ruido/ruido2.pdf>
39. Información relacionada con factores de emisión, disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/efpac/index.html>, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html> y, <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
40. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, disponible en <http://wwwsp.iai.int>
41. La ley del aire limpio, disponible en: <http://www.epa.gov/air/caa/peg/>
42. La Política Futura de Lucha Contra el Ruido. Libro Verde de la Comisión Europea. Bruselas, 1996, se puede consultar en: <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/libro-verde-de-la-comision-eur.pdf>
43. Los Métodos de referencia y equivalentes para la medición directa de emisiones contaminantes convencionales y no convencionales de la Environmental Protection Agency – EPA, se pueden consultar en: <http://www.epa.gov/ttn/emc/promgate.html> y <http://www.epa.gov/ne/info/testmethods/index.html>
44. Manual de auto-instrucción “Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire”. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/meteoro/prologo.html>

45. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - Secretaría del Ozono, disponible en <http://www.unep.ch/ozone/spanish/index.shtml>

46. Programa para el Estudio Regional del Fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste ERFEN, disponible en <http://www.ecuanex.net.ec/cpps/estudio.html>

47. Protocolo de Kioto, disponible en http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

48. Red de Transferencia de Tecnología - Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la frontera entre EE. UU. – México. Disponible en: http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/atech_s.html#888

49. Sistema de información ambiental de Colombia, disponible en <http://www.siac.gov.co>

50. Sistema de información sobre Calidad del Aire, disponible en <http://www.sisaire.gov.co>