

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ASESORAMIENTO TÉCNICO DE LA CAMPAÑA DE DESCONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA, PARA BOGOTÁ, EN LA FUNDACIÓN CIUDAD HUMANA**

**FUNDACIÓN CIUDAD HUMANA**

**Yira Bolaños Enríquez**

**Director: Ing. Robinsson Rodríguez**

**Tutor: María Fernanda Escallón**

**BOGOTÁ, D.C. Junio de 2005**

## **ACTA DE APROBACIÒN 035**

## **NOTA DE SALVEDAD DE RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los estudiantes en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia

## **AGRADECIMIENTOS**

Ricardo Montezuma,  
y compañeros de la  
Fundación Ciudad Humana  
por confiar y creer en mi

Javier Bolaños por su confianza

Facultad de Ingeniería Ambiental  
por brindarme los espacios cognoscitivos

## DEDICATORIA

A mis Padres y Hermanas  
por su constante apoyo  
en los momentos difíciles

Abuelita Luz Angélica:  
Tu luz iluminó mi vida  
y mi camino

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. METODOLOGÍA	17
3. PROBLEMÁTICA	18
4. JUSTIFICACIÓN	19
5. MARCO TEÓRICO	21
5.1 La Atmósfera	21
5.1.1 El aire atmosférico	21
5.2 Contaminación Atmosférica	23
5.2.1 Fuentes de la contaminación atmosférica	23
5.2.2 Tipos de contaminantes	23
5.2.3 Comportamiento de los contaminantes en la atmósfera	25
5.2.4 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud	26
5.2.5 Factores que influyen en la contaminación atmosférica	27
5.3 Descripción De Los Contaminantes Atmosféricos	29
5.3.1 Contaminantes primarios	29
5.3.1.1 Material particulado	29
5.3.1.2 Monóxido de carbono CO	30
5.3.1.3 Dióxido de azufre SO <sub>2</sub>	33
5.3.1.4 Hidrocarburos HC	35
5.3.2 Contaminantes secundarios	36
5.3.2.1 Ozono (O <sub>3</sub> )	36
5.3.2.2 Dióxido de nitrógeno NO <sub>2</sub>	41

6. MARCO LEGAL	45
6.1 Nivel Internacional	45
6.2 Nivel Nacional	46
6.3 Nivel Distrital	47
7. RESULTADOS	49
7.1 Evaluación De La Calidad Del Aire En Ciudad de México, Santiago de Chile, Lima y Bogotá	50
7.1.1 Descripción topográfica y meteorológica de las ciudades a estudiar	50
7.1.2 Normatividad de calidad del aire	53
7.1.3 Principales contaminantes atmosféricos de cada ciudad según estadísticas	54
7.1.4 Principales fuentes de contaminación atmosférica de cada ciudad	61
7.1.5 Efectos sobre la salud de los ciudadanos de cada ciudad	64
7.1.6 Comparación de las distintas calidades del aire	73
7.1.7 Medidas de control de la contaminación que han tomado en estas ciudades	74
7.2 Puntos a Tener en Cuenta para la Estructuración de la Campaña	88
7.3 Estructuración Inicial de la Campaña de Descontaminación Atmosférica de la Fundación Ciudad Humana para Bogotá, D.C.	92
7.3.1 Fortalecimiento de la conciencia ciudadana sobre la contaminación atmosférica: ciudadanía y responsabilidad sobre el medio ambiente	92
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXO	108

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Estándares de calidad de aire. EPA	45
Tabla 2. Límites de concentración de contaminantes en el aire	48
Tabla 3. Normas de Calidad del Aire	53
Tabla 4. Emisiones totales por fuente	61
Tabla 5. Inventario de emisiones porcentual- 2000	62
Tabla 6. Fuentes de Emisión 2000	63
Tabla 7. Emisiones de contaminantes de fuentes fijas y móviles. Año 2000. Miles de toneladas (Ktn)	63
Tabla 8. Contribución porcentual por fuente de contaminación	64
Tabla 9. Tasas de mortalidad por neumonía	65
Tabla 10. Funciones exposición respuesta en el Valle de México. – población general	70
Tabla 11. Funciones de Exposición respuesta en el valle de México- población general	71
Tabla 12. Distribución de número de casos, promedio de número de consultas de IRA en menores de 5 años en semanas con y sin contaminación con PM <sub>10</sub> .2000-2002	72
Tabla 13. Mortalidad en Niños de 1 a 4 años, 2000	73
Tabla 14. Emisiones generadas por vehículo al año.	74
Tabla 15. Definición de índices de calidad del aire por material particulado (ICAP)	83
Tabla 16. Balance Histórico en Santiago de Chile	84



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Evolución del PM <sub>10</sub> 1989-2002	57
Figura 2. Concentración de PM <sub>10</sub> 1997-2003	58
Figura 3. Porcentaje de días al año que es superada la norma	59
Figura 4. Distribución mensual por muertes en Bogotá	66

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Resumen de resultados obtenidos	108

## **RESUMEN**

Mediante el incremento de la conciencia ambiental ciudadana se busca el empoderamiento de los Bogotanos acerca del cuidado de medio ambiente en general y de la calidad del aire en particular. Para lograrlo, se ha estructurado una Campaña de “Fortalecimiento de la conciencia ciudadana sobre la calidad del aire”; ésta campaña inicia con la recopilación de información teórica sobre la calidad del aire en Bogotá, Lima, Santiago de Chile y Ciudad de México y las medidas de control que se ha tomado en cada ciudad, que se presenta en el siguiente informe.

## INTRODUCCIÓN

El presente documento es el resultado de la práctica empresarial realizada en la Fundación Ciudad Humana, en el cual, se plantea la base técnica y la estructuración inicial de la Campaña de Descontaminación Atmosférica para Bogotá, D.C.; CIUDAD HUMANA es una Fundación sin ánimo de lucro que promueve la construcción participativa de ciudades sostenibles cuyo centro de reflexión sea lo humano. Está constituida por un grupo de profesionales y practicantes interdisciplinario dirigido por un urbanista altamente calificado con experiencia y reconocimiento nacional e internacional.

El informe esta constituido por cuatro partes. La primera de ellas es el marco teórico, y legal sobre calidad del aire, especificando la composición química de la atmósfera, los contaminantes atmosféricos, las principales fuentes de generación, el comportamiento y las transformaciones químicas que sufren esas sustancias en la atmósfera, los efectos sobre la salud humana y las normas que rigen la calidad del aire a nivel internacional, nacional y local.

La segunda parte, a su vez, recoge los resultados obtenidos durante la recopilación de información sobre la calidad del aire en Bogotá, Santiago de Chile, México, D.F., y Lima, incluyendo la descripción geográfica, topográfica y meteorológica, los principales contaminantes según los reportes de las redes de monitoreo de la calidad del aire, las principales fuentes de generación, los efectos sobre la salud, la normatividad sobre calidad del aire y las acciones emprendidas o políticas implementadas en cada ciudad y las consideración o puntos a tener en cuenta para la elaboración y ejecución de la campaña.

En la tercera parte, se presenta la estructura de la campaña “Fortalecimiento de la Conciencia Ciudadana sobre la contaminación atmosférica: ciudadanía y responsabilidad sobre el medio ambiente”, la propuesta inicial, con objetivos,

justificación y actividades que se planea llevar a cabo en el desarrollo de la campaña. Sin embargo, la campaña en éste momento se encuentra en su etapa final de diseño y en la consecución del financiamiento económico.

Por último, se compilan las conclusiones y recomendaciones de mayor relevancia obtenidas del desarrollo de la práctica empresarial en la Fundación Ciudad Humana.

# **1. OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Asesorar a la Fundación Ciudad Humana en el tema de Calidad del Aire para la adecuada orientación de la campaña de Descontaminación Atmosférica para Bogotá, D.C.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- x Consolidar un documento técnico, en el que se consigne información sobre el estado de la calidad del aire en Bogotá, las fuentes de generación, las concentraciones de los contaminantes y los efectos sobre la salud humana.
- x Comparar la situación atmosférica de Bogotá y las medidas de mitigación y reducción, con respecto a otras ciudades como Santiago de Chile, Lima y Ciudad de México para fomentar comportamientos acordes con las necesidades de la ciudad.
- x Proponer los puntos a tener en cuenta para el diseño de la Campaña de Descontaminación Atmosférica para Bogotá de la Fundación Ciudad Humana
- x Elaborar la estructuración inicial de la campaña de Descontaminación Atmosférica de la Fundación Ciudad Humana para Bogotá, D.C.

## 2. METODOLOGÍA

Durante los tres meses de trabajo de práctica empresarial en la Fundación Ciudad Humana, se llevó a cabo la recopilación bibliográfica sobre la contaminación atmosférica, abordada desde las fuentes de generación, los tipos de contaminantes y los efectos que éstos poseen sobre la salud del hombre.

También se realizó una revisión de las concentraciones de contaminantes en la atmósfera según los datos de la red de monitoreo de calidad del aire del DAMA, sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana con la colaboración de funcionarios de la Secretaria Distrital de Salud. Posteriormente, se hizo una revisión vía Internet, de la calidad del aire en ciudades Latinoamericanas como Ciudad de México, Santiago y Lima con el fin de compararlas con el estado de la calidad del aire de Bogotá en la cual se conoce las medidas de control que han tomado las autoridades ambientales para reducir las emisiones.

Este documento fue elaborado bajo la supervisión del Ingeniero Robinsson Rodríguez, nombrado por la Facultad de Ingeniería Ambiental como director de la práctica empresarial y bajo el seguimiento de Ricardo Montezuma quien es el director de la Fundación Ciudad Humana y de Maria Fernanda Escallón - Coordinadora de Proyectos- como jefe directo.

### 3. PROBLEMÁTICA

Los mecanismos de control que las autoridades ambientales competentes aplican sobre las fuentes de emisiones atmosféricas, ya sean móviles o fijas, no han sido suficientes debido a que la calidad del aire en Bogotá en algunos sectores de la ciudad no ha mostrado ninguna disminución en los niveles de concentración de los contaminantes y por el contrario, han incrementado los niveles como es el caso del PM<sub>10</sub> considerado como el principal contaminante de la ciudad.

Las estadísticas de la Secretaría Distrital de Salud en cifras correspondientes a Infección Respiratoria Aguda (IRA) atendidas, muestran que la contaminación atmosférica es uno de los factores que influyen en la presentación de los casos sobre todo en niños menores a 5 años.

En el Distrito Capital un elevado número de vehículos del parque automotor no cumple con los requisitos mecánicos para transitar y operar, sin embargo, lo hacen libremente por la ciudad, emitiendo grandes cantidades de gases contaminantes a la atmósfera, los cuales por las condiciones meteorológicas y geográficas de la ciudad se transportan hacia las poblaciones aledañas, afectando de manera indirecta su entorno y calidad de vida; el remanente de estas emisiones reacciona con otras sustancias generando smog fotoquímico, entre otros fenómenos asociados.

A esta situación, se suma la carencia de información sobre los mecanismos y espacios de acción y participación para los ciudadanos que sienten los efectos directos de la polución atmosférica, lo cual ha generado un silencio sobre el cumplimiento de las políticas de reducción de emisiones atmosféricas, conduciendo a la ciudadanía a sentirse impotente y a no ser tomada en cuenta en las decisiones con respecto a control de la polución atmosférica.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El objetivo general de la Ingeniería Ambiental es “reducir al mínimo el daño a la naturaleza y aumentar al máximo el rendimiento de los procesos para disminuir el consumo desmedido de recursos y energía y la producción de desechos<sup>1</sup>”. Por tal razón, es necesario que el ingeniero ambiental sea capaz de abordar los problemas de contaminación ambiental desde el punto de vista de las fuentes de generación de impactos, con acciones enmarcadas en prevención y reducción como de las medidas de corrección, mitigación y compensación que se deben aplicar para reducir los efectos.

La formación académica del Ingeniero Ambiental de la Universidad El Bosque, fue pensada desde la visión integradora y holística del desarrollo sostenible, estudiando e interviniendo en los procesos biológicos, químicos, físicos, sociales y culturales que tienen incidencia sobre el medio ambiente. Una de las ramas y en la cual el ingeniero ambiental puede enfocarse, es la educación ambiental, mediante la trasmisión de sus conocimientos y la formación de nuevos pensamientos se obtiene cambios en el comportamiento de la población frente al tema ambiental y su impacto sobre los recursos.

Para la formulación de cualquier proyecto ambiental, se debe contar con una línea base o información de partida sobre el problema que se desea atacar y solucionar con la implementación del proyecto; ésto es válido también para el diseño de una campaña ambiental que busque llevar a la población a la cual va dirigida, información verídica y actual sobre un tema en particular, como la que pretende implementar la Fundación Ciudad Humana. Por lo tanto, es primordial contar con un ingeniero ambiental que posea los conocimientos técnicos para elaborar dicha línea base o

---

<sup>1</sup> GUIO Diana. Notas de Clase. Introducción a la Ingeniería Ambiental. U. El Bosque. 2001

punto de partida para la campaña, ya que posee las herramientas para evidenciar los problemas ambientales reales que aquejan a las ciudades.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 La Atmósfera

La composición química de la atmósfera varía según la temperatura y la altitud. La zona más cercana a la superficie terrestre se denomina Troposfera la cual se extiende hasta una altura de 10 Km en ella la temperatura disminuye con la altitud; la troposfera tiene movimientos conectivos de masas de aire tanto vertical como horizontal.

Encima de la troposfera se encuentra la Estratosfera la cual se extiende hasta 50 km aproximadamente. En esta región la temperatura aumenta con la altitud lo que impide el ascenso de las masas de aire frío, más densas, por encima de las calientes, esto se denomina capa de inversión en la cual solo se presentan movimientos horizontales de masas de aire.

A 90 km se encuentra la Mesosfera, en esta zona la temperatura vuelve a descender con la altura. Por encima de ésta se encuentra la termosfera “que se caracteriza por poseer un gradiente positivo de temperatura en donde la temperatura aumenta con la altura hasta alcanzar un máximo de  $2000^{\circ}\text{C}$ ”<sup>2</sup>. Finalmente, encima de la termosfera, se extiende la exosfera, la cual es isotérmica.

#### 5.1.1 El aire atmosférico

El aire es una mezcla de gases que rodean la Tierra en una capa relativamente delgada. La mayor parte del aire (95%) se encuentra dentro de

---

<sup>2</sup> DOMENECH Xavier. Química Atmosférica. Origen y efectos de la contaminación atmosférica. 1999

los primeros 20 km sobre el nivel del mar, por encima de los cuales disminuye en densidad hasta desvanecerse de manera gradual en el vacío del espacio, algunos cientos de kilómetros sobre la superficie terrestre.

Los componentes principales del aire, nitrógeno (78%), oxígeno (20.94%) y argón (0.93%), no reaccionan entre sí bajo circunstancias normales. Así mismo las pequeñas cantidades de helio, neón, criptón, xenón, hidrógeno y dióxido nítrico tienen poca o ninguna interacción con otras moléculas. Algunos otros gases, también presentes en pequeñas cantidades no son químicamente inertes, sino que interactúan con la biosfera, la hidrosfera y entre ellos mismos. Por lo tanto estos gases tienen un tiempo limitado de permanencia en la atmósfera y concentraciones característicamente variables.

El aire seco o limpio está compuesto de gases principales: Nitrógeno, Oxígeno, Argón, Dióxido de Carbono.

Gases Raros (no reactivos): Helio, neón, Criptón y Xenón.

Gases reactivos: monóxido de carbono, hidrocarburos (excepto el metano), metano, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, amoníaco, dióxido de azufre y ozono.

“Los gases reactivos son los que se consideran contaminantes cuando los produce el hombre en cantidades suficientes elevadas como para exceder en forma significativa a las concentraciones del ambiente”<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> DICKSON. Química: Enfoque Ecológico. Editorial Limusa. México, 2000.

## **5.2 Contaminación Atmosférica**

“Es la presencia en la atmósfera exterior de uno o mas contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar a 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”<sup>4</sup>.

### **5.2.1 Fuentes de la contaminación atmosférica**

Existen dos fuentes principales de contaminación atmosférica: natural y antropogénica.

- x Natural: erupciones volcánicas, fermentación anaerobia, océanos, incendios forestales;
- x Antropogénica: Proviene generalmente de la combustión de carburantes fósiles. Esta contaminación suele estar concentrada en grandes centros urbanos e industriales.
  - Fijas: Puntuales (industrias, chimeneas); Área (vías sin pavimentar, quema a cielo abierto)
  - Móviles: vehículos, trenes, aviones.

### **5.2.2 Tipos de contaminantes**

Existen dos tipos de contaminantes:

---

<sup>4</sup> WARNER WARK, Contaminación del aire. Limusa, Noriega editores. 2002

- x Contaminantes primarios: son los que se emiten directamente por la fuente a la atmósfera: CO, SO<sub>2</sub>, MP<sub>10</sub> (material Particulado), CO<sub>2</sub>.
  
- x Contaminantes secundarios: son los que se producen a partir de reacciones entre los contaminantes primarios con otras sustancias en la atmósfera: Ozono troposférico (O<sub>3</sub>), NO<sub>2</sub>, PAN, PBN.

Además de los contaminantes mencionados, para fines de control de la contaminación atmosférica, La EPA<sup>5</sup> ha dispuesto una lista de sustancias que son peligrosas para la salud humana debido a sus elevadas concentraciones en la atmósfera y de emisión.

x Contaminantes Criterio

Dentro de ellos la EPA considera al Plomo, pero en Colombia en la actualidad no se lo tiene en cuenta debido a que la gasolina en nuestro país no contiene plomo y por lo tanto no existe monitoreo.

- x CO
- x NO<sub>x</sub>
- x SO<sub>x</sub>
- x Material Particulado PM<sub>10</sub>
- x Ozono

---

<sup>5</sup> Por sus siglas en Ingles, Agencia de Protección Ambiental

### 5.2.3 Comportamiento de los contaminantes en la atmósfera

La dispersión en la atmósfera de los efluentes que proceden de chimeneas depende de muchos factores correlacionados: como la naturaleza física y química de los efluentes, las características meteorológicas del ambiente, la ubicación de la chimenea en relación con las obstrucciones al movimiento del aire y la naturaleza del terreno que se encuentra en la dirección del viento que viene de la chimenea.

Para alcanzar la máxima dispersión, las emisiones deberán salir de la chimenea con suficiente velocidad y capacidad de flotación, a fin de que continúe su ascenso luego de la salida de la chimenea. Cuando el viento no tiene una velocidad suficiente, las plumas de baja densidad tienden a alcanzar grandes elevaciones, con las consecuentes bajas concentraciones cerca del nivel del suelo.

Las partículas grandes y las plumas de gas denso caen al suelo cerca de la chimenea. Las altas velocidades del viento aumentan la acción diluyente de la atmósfera originando baja concentraciones a nivel del suelo.

La mayoría de los contaminantes del aire están contenidos en gases que al producirse por medio de la combustión, son mucho más calientes que el aire circundante; en consecuencia, son ligeros y tienden a elevarse. La elevación de los gases contaminantes depende entonces principalmente de la temperatura del aire mediante el incremento de la altura.

A medida que la altura se incrementa la temperatura disminuye, esta condición se conoce como tasa de declinación adiabática, la cual es de  $1^{\circ}$  C cada 100 m de elevación del aire ya que no hay intercambio de calor con el aire de su entorno, se expande conforme la presión decrece y se enfría.

El contaminante una vez emitido sufre varias transformaciones físicas y químicas. En primer lugar se presenta una mezcla de contaminantes a causa de la turbulencia atmosférica, favorecida por el relieve de la superficie terrestre. A esto le sigue una dispersión por la atmósfera, la cual está favorecida por la circulación dominante de las masas de aire, con lo que se logra una distribución horizontal homogénea de los contaminantes. Eventualmente los contaminantes pueden retornar a la superficie terrestre o sufrir transformaciones químicas que pueden dar lugar a otros contaminantes.

#### **5.2.4 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud**

Es importante señalar que todos los habitantes de la ciudad no están expuestos a los contaminantes de la misma manera. Varios factores influyen sobre el grado de exposición de una persona. Primero, el lugar de exposición (personas que se encuentran cerca de calles de alto tráfico respiran más gases y partículas respirables). Segundo, el tiempo de exposición (la contaminación no solamente tiene efectos por eventos críticos sino también por el tiempo de exposición). Los grupos de personas más vulnerables son los lactantes, los preescolares y los adultos mayores

Alguno de los contaminantes emitidos a la atmósfera reaccionan en ella con otras sustancias produciendo nuevos contaminantes. Los efectos que estos contaminantes tienen sobre la salud humana se pueden estudiar en laboratorios en donde se controlan las condiciones y se obtienen mejores resultados. El grupo que mas susceptible a presentar alguna afectación es el que esta compuesto por niños y ancianos, ya que poseen bajas defensas.

El hombre expone pequeñas partes de su piel a la contaminación pero cada día inhala grandes cantidades de contaminantes que van directamente a sus



pulmones y al sistema respiratorio y tienen la capacidad de retener esas sustancias nocivas en el organismo.

El aire se introduce por la nariz, donde el vello filtra la mayor parte de las partículas mas grandes que miden alrededor de diez micrómetros de diámetro; el aire se calienta y humedece entonces se filtra a través de la traquea, hacia el interior de los conductos bronquiales, los cuales subdividen la corriente de aire en al introducirlos en los pulmones y llegan a los alvéolos en donde el oxígeno y los contaminantes son absorbidos y transferidos a la sangre.

Los contaminantes fácilmente solubles como el dióxido de azufre, se pueden absorber en las paredes húmedas del sistema superior respiratorio, pero las partículas finas y las gotas pequeñas (0.1 a 5 micrómetros de diámetro) junto con algunos gases sobre estas se pueden acarrear hacia el interior y depositar sobre la superficie de los pulmones.

El grupo más afectado es de los niños que permanecen la mayor parte del tiempo en cercanías de su hogar. Las personas que se movilizan dentro de la ciudad también tienen exposición a la contaminación durante el tiempo de tránsito que en ocasiones puede durar 3 o 4 horas.

### **5.2.5. Factores que influyen en la contaminación atmosférica**

#### **¾ Movimientos Atmosféricos e Inversión Térmica:**

- x Movimiento Horizontal: conocido como componente horizontal de los vientos. Es provocado principalmente por el calentamiento desigual de la superficie terrestre. Es modificado por la rotación de la Tierra y es influenciada por el terreno y el mar.

x Movimiento Vertical: cualquier porción de aire que sea menos densa que el aire que le rodea, se elevará por acción del empuje vertical y cualquier porción que sea más densa que el aire que le rodea se hundirá por la acción de empuje vertical negativo.

Esto produce una capa de aire mas fresco, bajo la capa del aire tibio; la capa de aire tibio queda atrapada entre la masa de aire fresco y el airea un mas fresco, de las alturas. Este fenómeno se denomina inversión de temperatura. Cuando se produce una inversión, la temperatura del aire disminuye con la altura, hasta llegar a la capa tibia; en este nivel, la temperatura vuelve a aumentar con la altura, hasta que llega a la capa de aire fresco, que esta por encima. Más allá de este punto, la temperatura vuelve a disminuir con la altitud, como es normal. Generalmente, las inversiones de temperatura se producen en la noche, pero al día siguiente se pueden presentar nuevas inversiones.

Una vez producida la inversión térmica, los contaminantes primarios del aire quedan atrapados y se acumulan en zonas localizadas y pueden producir contaminantes secundarios.

#### **¾ Estabilidad:**

Es la tendencia de la atmósfera a resistir el movimiento vertical o suprimir la turbulencia existente.

Influye directamente sobre la capacidad para dispersar los contaminantes que se emiten a la atmósfera. A medida que una porción de aire sube la atmósfera encontrar amenos presión y se facilitara su exposición a una temperatura menor. La expansión es tan rápida que se supone que no existe transferencia de calor entre la porción de aire y la atmósfera (proceso adiabático).

El grado de estabilidad es una medida de la capacidad de la atmósfera para dispersar los contaminantes emitidos dentro de ella. A una atmósfera inestable, mejor dispersión.

<sup>3</sup>/<sub>4</sub> **Altura de la capa de mezcla:** el alcance vertical del mezclado conectivo y turbulento determina la altura máxima de mezcla de los contaminantes en la atmósfera.

A mayor alcance vertical mayor volumen de atmósfera disponible para diluir la concentración de los contaminantes.

## 5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

### 5.3.1 Contaminantes Primarios

#### 5.3.1.1 Material particulado

Es un termino que se emplea para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente 0.0002  $\mu\text{m}$  de diámetro) pero menores de 500  $\mu\text{m}$ . las principales son aquellas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de ( $\text{PM}_{10}$ ).

#### <sup>3</sup>/<sub>4</sub> **Fuentes del Material Particulado ( $\text{PM}_{10}$ )**

- x Fuentes naturales: el polvo de las carreteras sin pavimento, las erupciones volcánicas
- x Fuentes de combustión: quema de combustibles fósiles
- x Fuentes diversas: aerosoles

- x Fuentes secundarias: es el material remanente que se suspende con el paso vehicular, se asienta continuamente. Generando un remanente a nivel de suelo.

#### **¾ Efectos del Material Particulado en la Salud Humana**

Las partículas pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones.

El PM<sub>10</sub> puede agravar enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causar daño en el tejido pulmonar. Los grupos más vulnerable son las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños. Así mismo, afecta la visibilidad.

#### **5.3.1.2 Monóxido de carbono**

Es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Se tiene alguna evidencia de que el CO puede ser químicamente activo durante la formación del smog.

#### **¾ Fuentes del monóxido de carbono**

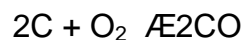
- x Fuentes naturales: se encuentra en los gases producidos por los volcanes, los depósitos de carbón y la materia orgánica en descomposición que suele existir en los pantanos. Otras fuentes naturales son la descomposición atmosférica de CO<sub>2</sub> así como la disociación de los intermediarios de CO<sub>2</sub> en la formación fotoquímica de smog.

- x Fuentes biológicas: junto con el hombre, las plantas son productoras de CO así algunas especies marinas.
- x Fuentes de combustión: los niveles más altos de CO se encuentran cerca de las autopistas y en los puntos en que la densidad de tráfico es máxima.
- x Fuentes diversas: fabricación de sustancias químicas como ácidos orgánicos, cetonas, formaldehído y metanol, así como la fabricación de solventes y la producción química relacionada con el cracking de petróleo.

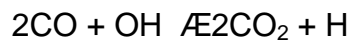
#### **¾ Comportamiento del CO en la atmósfera**

El monóxido de carbono es un producto común de los vehículos con motores de combustión interna y se acumula en la atmósfera en las zonas urbanas, en las calles con elevado tránsito vehicular.

1. Se forma debido a la combustión incompleta del carbono o de compuestos que lo contienen:

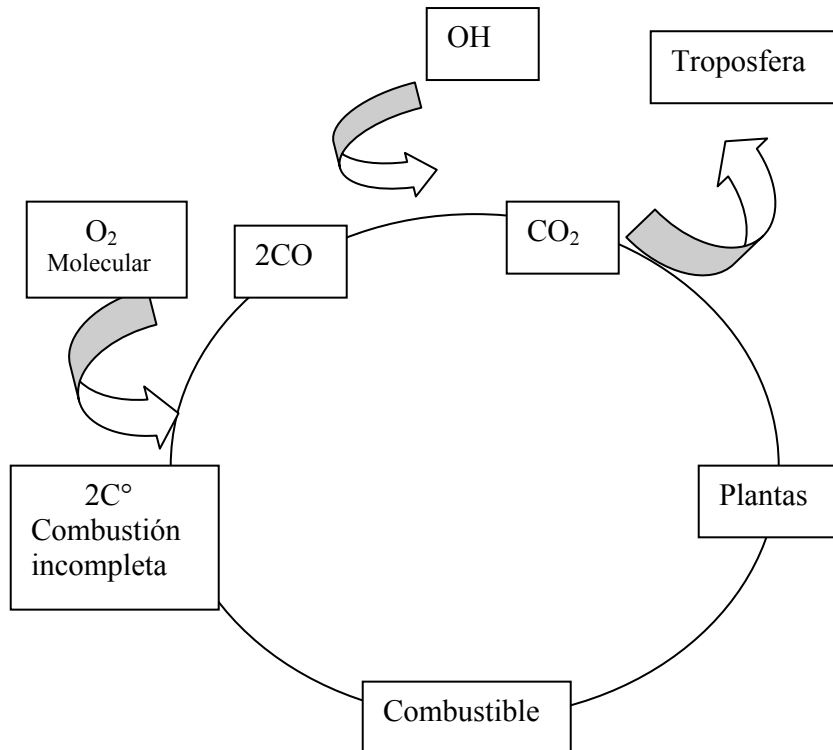


2. El CO producido reacciona con los radicales de OH en la troposfera que constituyen un sistema químico de combustión a baja temperatura.



De esta forma una pequeña porción del CO<sub>2</sub> es absorbido por las plantas que lo reincorporan al suelo (combustibles: carbón, petróleo) y otra porción del CO<sub>2</sub> se acumula en la atmósfera y causa el efecto invernadero.

### ¾ Ciclo Biogeoquímico y Ciclo de Formación del CO



### ¾ Efectos del CO en la salud humana

El monóxido de carbono reacciona con la hemoglobina de la sangre para producir carboxihemoglobina, lo que reduce la eficacia de este portador de oxígeno al torrente sanguíneo de forma oxihemoglobina y las células que dependen del oxígeno para su sostenimiento sufren carencia de oxígeno. Lo que ocurre es que el CO y O<sub>2</sub> se parecen en su estructura molecular, compiten por la unión con la molécula de hemoglobina.

“La distribución del CO en el torrente sanguíneo está en proporción a la presión parcial del CO en la atmósfera. Se puede considerar que el tiempo que tarda en aparecer el rubor y la respiración acelerada debe ser el que

se precisa para alcanzar el equilibrio con la concentración del ambiente de CO”<sup>6</sup>.

“La muerte ocurre en humanos expuestos a concentraciones alrededor de 1000 ppm correspondiente a niveles de COHg de 60%.”<sup>7</sup>

### **5.3.1.3 Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>**

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, no flamable y no explosivo de olor fuerte e irritante que produce una sensación gestatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm; su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie húmeda o seca y el resto se convierte en iones sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).

#### **¾ Fuentes de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

- x Fuentes naturales: la fuente mas importante de emisión de este gas son las erupciones volcánicas
- x Fuentes biológicas: la emanación de gases de descomposición en lo pantanos, oxidación del H<sub>2</sub>S
- x Fuentes de combustión: la quema de combustibles fósiles con altos contenidos de azufre
- x Fuentes diversas: industrias químicas de producción de ácido sulfúrico.

---

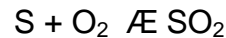
<sup>6</sup> WARNER, Peter. Análisis de los contaminantes del aire. Editorial Paraninfo. Madrid 1981

<sup>7</sup> STRAUSS, MAINWARING. Contaminación del aire. Editorial Trillas. México 1995

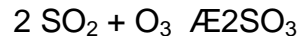
### ¾ Comportamiento de los SO<sub>x</sub> en la atmósfera

Dentro del ciclo de Formación del Contaminante atmosférico SO<sub>x</sub> ocurren los siguientes procesos:

1. En el ciclo biogeoquímico y de la combustión incompleta de automotores e industrias. Los SO<sub>x</sub> se forman cuando se queman carbón y petróleo, que contiene azufre:



2. El óxido de azufre es el óxido más común de este elemento que participa en la contaminación del aire; sin embargo hay algunos procesos industriales que emiten trióxido de azufre SO<sub>3</sub> y que se forma también en la atmósfera en pequeñas cantidades debido a la reacción entre el dióxido de azufre y el oxígeno:

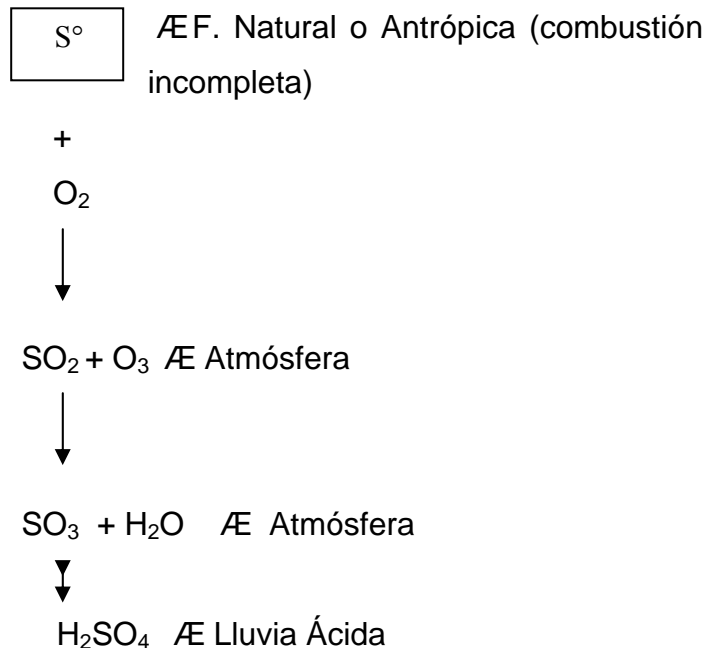


3. Destino de los SO<sub>x</sub> atmosféricos: cuando hay presencia de vapor de agua en el aire.





### <sup>3/4</sup> Ciclo de formación de los SO<sub>x</sub>



#### 5.3.1.4 Hidrocarburos

Existen infinidad de hidrocarburos emitidos en el proceso de combustión; sin embargo la Red de Monitoreo de calidad del aire-DAMA actualmente permite monitorear benceno, tolueno y formaldehído.

El benceno es hidrocarburo aromático tóxico, gaseoso, líquido claro, incoloro, volátil e inflamable. El tolueno es un hidrocarburo análogo al benceno, volátil e inflamable. El formaldehído es un hidrocarburo proveniente del alcohol metílico.

Estas tres sustancias son compuestos orgánicos volátiles (VOC's).

El benceno se utiliza a gran escala en las industrias químicas; es un constituyente menor de la gasolina.

El tolueno se utiliza como solvente en la preparación de colorantes, medicamentos y del T.N.T.

El formaldehído se utiliza como desinfectante enérgico.

### **¾ Fuentes de Hidrocarburos (HC)**

- x Fuentes naturales: pantanos
- x Fuentes biológicas: bacterias metanogénicas
- x Fuentes de combustión: quema de combustibles fósiles
- x Fuentes diversas: evaporación de solventes y combustibles

### **¾ Efectos de los Hidrocarburos en la Salud Humana**

El benceno es un agente carcinógeno causante de tumores, al ser ingerido y/o inhalado, produce irritación de ojos, cansancio y tos

## **5.3.2 Contaminantes Secundarios**

### **5.3.2.1 Ozono (O<sub>3</sub>)**

El ozono (O<sub>3</sub>) es una molécula formada por tres átomos de oxígeno. Se diferencia del oxígeno molecular normal en que éste último es O<sub>2</sub>. El ozono es un gas de color azul que tiene un fuerte olor muy característico que se suele notar después de las descargas eléctricas de las tormentas. Es una sustancia

que cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en troposfera.

#### *f* Ozono estratosférico

Es el ozono que se encuentra en la estratosfera que es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioleta que llegan del sol.

#### *f* Ozono troposférico

Es el ozono que se encuentra en la troposfera, junto a la superficie de la Tierra; es un importante contaminante secundario. El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire.

La concentración media de ozono en las partes bajas de la atmósfera es de alrededor 0.03 ppm, la cual no es más que el balance entre el ozono estratosférico que es incorporado a la troposfera y el que se pierde en reacciones de oxidación que ocurre en esta zona de la atmósfera. Sin embargo, y debido a los procesos químicos que transcurren en áreas urbanas industrializadas, estos niveles pueden aumentar significativamente.

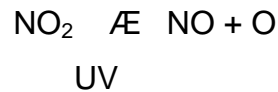
Puesto que el ozono es un contaminante secundario su velocidad de formación depende de la concentración de sus progenitores. En realidad, los niveles de ozono varían a lo largo del día, dependiendo de la intensidad del tráfico, de la actividad industrial y de la intensidad de luz solar.

Normalmente la concentración máxima de ozono es alcanzada a medio día, cuando la actividad solar es máxima y la atmósfera esta cargada de hidrocarburos. La concentración máxima de estos últimos compuestos se alcanza a las primeras horas de la mañana, cuando tiene lugar la gran afluencia de vehículos motorizados en las calles. Seguidamente los niveles de hidrocarburos inician un descenso debido a las reacciones que los consumen para la formación de contaminantes secundarios.

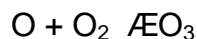
#### **¾ Comportamiento del O<sub>3</sub> en la atmósfera**

El ozono es el producto de una oxidación de energía alta. En su estado de energía más alto puede causar la oxidación de un cierto número de especies químicas.

1. La radiación ultravioleta del sol hace que el dióxido de nitrógeno se divida en monóxido de nitrógeno, NO y átomos de oxígeno O.



2. Los átomos de oxígeno reaccionan con moléculas de oxígeno O<sub>2</sub>, de la atmósfera, para producir ozono O<sub>3</sub>.



3. Este ciclo se completa cuando el ozono reacciona con el óxido nítrico para dar dióxido de nitrógeno y oxígeno molecular.

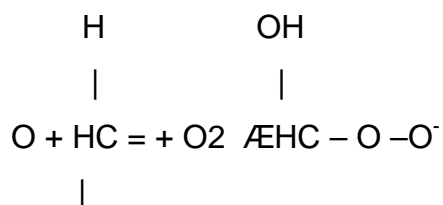


Como se ve el ciclo básico del NO<sub>2</sub> emplea todo el ozono que produce, no puede originar los niveles de ozono que se observan en el smog fotoquímico.

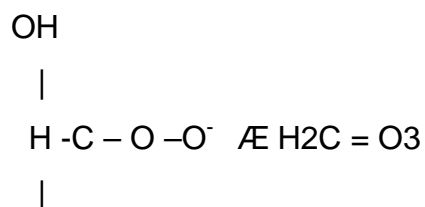
Sin embargo, el aumento del ozono se debe a que los hidrocarburos HC, rompen el ciclo, participando en las reacciones químicas que permiten que el oxido nítrico desbalanceado y el monóxido de nitrógeno se vuelve a convertir el dióxido de nitrógeno, a una mayor velocidad que con la que se rompe el dióxido de nitrógeno.

El resultado es una acumulación de ozono que forma parte del smog fotoquímico.

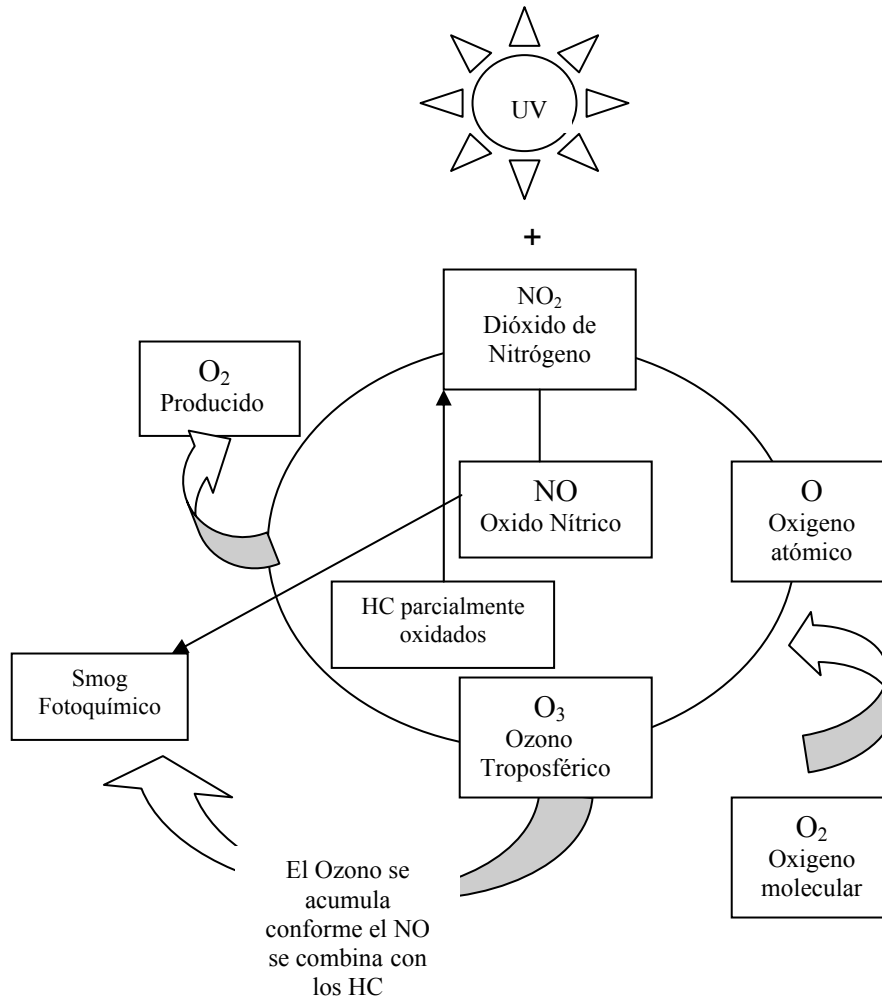
4. El oxígeno naciente reacciona entonces con el oxígeno natural normal en presencia de Hidrocarburos insaturados para formar intermediarios hidroxiperóxidos.



5. Estos compuestos eventualmente se descomponen para dar ozono libre



### ¾ Ciclo de Formación del Ozono Troposférico



### ¾ Efectos del Ozono sobre la Salud Humana

Causa severa irritación en los ojos, y en combinación con el ozono irritan la nariz y la garganta, producen constricción del pecho y a concentraciones altas producen fuerte tos, edema pulmonar, hemorragias y en ocasiones la muerte; a exposiciones prolongadas causa asma y bronquitis crónica.

“Un estudio de la Universidad de Harvard sugiere que una reducción del 10% de las concentraciones de PM<sub>10</sub> podría prevenir alrededor de

10000 muerte prematuras al año y 10000 nuevos casos de bronquitis crónica. Por otra parte el mismo estudio sugiere también que una reducción del 10% de los niveles de ozono podrían prevenir varios cientos de muertes al año<sup>8</sup>.

### 5.3.2.2 Dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>

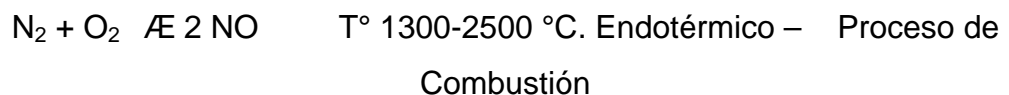
El NO<sub>2</sub> es un gas de color marrón claro

#### <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Fuentes de Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

- x Fuentes naturales: erupciones volcánicas
- x Fuentes biológicas: bacterias nitrificantes
- x Fuentes de combustión: quema de combustibles fósiles
- x Fuentes diversas: industrias químicas de ácido nítrico, detonación de explosivos que contienen nitrato y los procesos de arco eléctrico

#### <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Comportamiento en la atmósfera de los Óxidos de Nitrógeno NO<sub>x</sub>

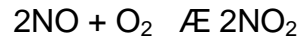
1. El óxido nítrico se forma mediante la reacción de oxígeno y nitrógeno en el aire:



---

<sup>8</sup> Programa para mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana del valle de México. 2002-2010

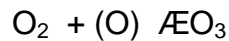
2. El dióxido de nitrógeno se produce debido a la reacción de monóxido de nitrógeno con el oxígeno del aire.



3. Las reacciones de los óxidos de nitrógeno y especialmente del NO que reacciona rápidamente con el ozono para dar NO<sub>2</sub> tiene una gran importancia. Este ciclo comienza cuando el NO<sub>2</sub> presente en la atmósfera absorbe la energía de la luz solar para producir oxígeno elemental, que es un agente oxidante.



4. La reacción continúa después para formar ozono con el oxígeno presente en el aire y el oxígeno elemental producido en la reacción 3:



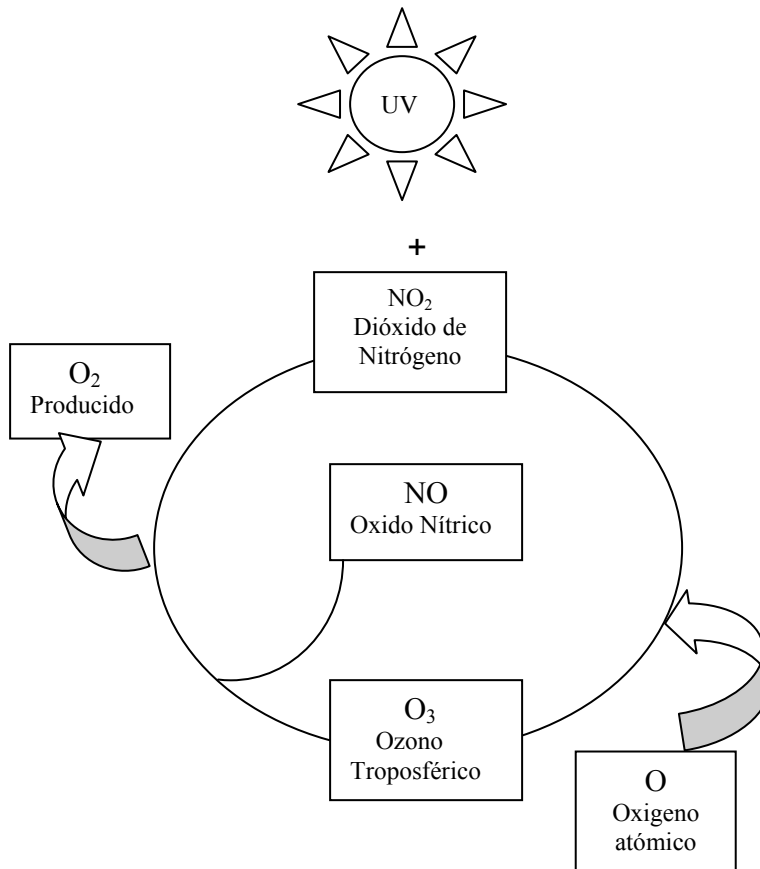
5. La reacción termina cuando se vuelve a formar NO<sub>2</sub>



Es necesario anotar que el exceso de NO reduce los niveles de ozono al actuar como un agente que captura y destruye el O<sub>3</sub> y de esta forma se reduce los niveles de smog fotoquímico.



## Ciclo de Formación de los NO<sub>2</sub>



### 3/4 Efectos del Dióxido de Nitrógeno en la salud humana

El dióxido de nitrógeno actúa como un fuerte irritante y a iguales concentraciones es más dañino que el NO. Sin embargo, a concentraciones controladas en la atmósfera, el NO<sub>2</sub> es solo potencialmente irritante y potencialmente relacionado con la fibrosis pulmonar crónica.

Se combina con el agua en los pulmones produciendo ácido nítrico, el epitelio pulmonar se deteriora por la presencia de éste ácido y en concentraciones altas causan lesiones graves como edema pulmonar y bronconeumonía.

El dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$  daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Asimismo, contribuye a la formación de lluvia ácida y el aumento de los niveles de  $\text{PM}_{10}$ .

## 6. MARCO LEGAL

### 6.1 Nivel Internacional

La EPA (Environmental Protection Agency) ha establecido estándares de calidad de aire para seis contaminantes (contaminantes de criterio).

**Tabla 1. Estándares de calidad de aire. EPA**

Contaminante	Símbolo	mg/m <sup>3</sup>	ppm	Período de Tiempo
<b>Dióxido de azufre</b>	SO <sub>2</sub>	1,300 (1) 0,365 (1) 0,080 (4)	0,50 (1,2) 0,14 (1) 0,03 (4)	3 horas (7) 24 horas (6) 1 año (6)
<b>Material particulado en suspensión (PM-10) (8)</b>	PM-10	0,050 (4) 0,150 (1)		1 año (6, 7) 24 horas (3,6,7)
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	10,000 (1) 40,082 (1)	g (1) 35 (1)	8 horas (6) 1 hora (6)
<b>Ozono (Oxidantes fotoquímicos)</b>	O <sub>3</sub>	0,235 (1)	0,12 (1)	1 hora (6, 7)
<b>Oxidos de nitrógeno (expresados como dióxido de nitrógeno)</b>	NO <sub>x</sub>	0,100 (4)	0,053 (4)	1 año (6, 7)
<b>Plomo</b>	Pb	0,0015 (1) (media aritmética)		3 meses (6, 7)
<b>Material particulado en suspensión (PM-2.5) (9)</b>	PM-2.5	0,015 (4) 0,065 (3)		1 año (6, 7) 24 horas (6, 7)
(1) No puede ser superado ese valor más de una vez a la año (2) Corresponde a norma secundaria (3) 24 horas medidas entre la cero hora del día 1 y la cero hora del día 2 (4) Media aritmética anual (5) Muestreado a partir de material particulado total (MPT) (6) Primario (7) Secundario (8) Partículas con diámetro menor o igual a 10µ (9) Partículas con diámetro menor o igual a 2.5µ				

## 6.2 Nivel Nacional

### **¾ Decreto 02 de 1982 expedido por el Ministerio de Salud**

Por el cual se reglamentan parcialmente el Título Id e la Ley 09 de 1979 y el Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a emisiones atmosféricas.

Se establecen las definiciones generales sobre contaminación atmosférica y establece las normas generales de emisión para fuentes fijas de contaminación del aire.

### **¾ Decreto 948 de 1995 expedido por el Ministerio de Medio Ambiente**

**Artículo 1. Contenido y Objeto.** “Contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera (...). Tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire; y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovales y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del desarrollo sostenible”<sup>9</sup>

**Artículo 136. Del derecho a la intervención de los ciudadanos.** en los tramites para el otorgamiento de los permisos de emisiones atmosféricas todo

---

<sup>9</sup> Decreto 948 de 1995. MinSalud.

ciudadano podrá hacer uso de cualquiera de los instrumentos de participación ciudadana previstos en el título X de la Ley 99 de 1993.

**¾ Documento CONPES 3344 “Lineamientos para la formulación de políticas sobre el control y prevención de la contaminación atmosférica”  
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005**

Este documento presenta a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social, Conpes, los lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia.

### **6.3 Nivel Distrital**

**¾ Resolución 1208 de 2003 expedida por el DAMA**

Por la cual se dictan normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá, D.C.

El Artículo 2 de la resolución establece las normas de calidad del aire para contaminantes convencionales establecidas en condiciones normales (298.15K y 101.325 kPa). Ver tabla 2.

**Tabla 2. Límites de concentración de contaminantes en el aire**

**Fuente: Resolución 1208 de 2003. Artículo 2°.**

## **7. RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados, los cuales son el documento técnico de recopilación de información sobre la calidad del aire en diferentes ciudades de Latinoamérica y la consideración y puntos de referencia que requiere la Fundación Ciudad Humana para el diseño e implementación de la campaña de Descontaminación Atmosférica para Bogotá; por último, también se presenta la estructuración inicial de la campaña. En el Anexo 1 se presenta el resumen de los resultados de cada ítem por ciudad analizado en los resultados.

## **7.1 Evaluación De La Calidad Del Aire En Ciudad De México, Santiago De Chile, Lima Y Bogotá**

### **7.1.1 Descripción topográfica y meteorológica de las ciudades a estudiar**

El clima y la topografía son factores determinantes en la dispersión y el comportamiento de los contaminantes presentes en la atmósfera. Estudiando estas características físicas de las ciudades se puede prevenir episodios de emergencia o elevada contaminación.

#### **Bogotá**

La ciudad de Bogotá se encuentra aproximadamente a 2560 msnm al sudeste de un altiplano de sabana de Bogotá y en la parte Este se extiende la cordillera oriental, que tiene alturas que van desde los 500 m hasta los 3000 msnm.

El clima de la ciudad al encontrarse en un altiplano, registra una temperatura media anual de 13 °C. A pesar de estar ubicada en una latitud próxima interior al ecuador, dentro del clima de montaña tropical, pertenece al clima húmedo de tierras templadas y frías. La variación de la temperatura en las estaciones es pequeña, teniendo dos épocas de lluvia. Además se caracteriza por tener vientos débiles con una velocidad media anual de 1.9 m/s. La presión barométrica es de 560 mm de Hg y la precipitación media anual es de 1.013 mm.”<sup>10</sup>.

#### **Ciudad de México**

---

<sup>10</sup> CONSORCIO UNGETEC-BECHTEL-SYSTRAL. Diseño Conceptual al SITM de la Sabana de Bogotá. 1999.



El valle de México forma parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2240 msnm y una superficie de 9560 km<sup>2</sup>; presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos.

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada la cual esta sujeta a condiciones que no favorecen la ventilación de la atmósfera.

La Ciudad está casi completamente rodeada por montañas que alcanzan 1,200 metros de altura, o más, sobre el nivel de ésta. Las montañas, que constituyen una barrera para la circulación del aire, aíslan a la ciudad de los vientos regionales.<sup>11</sup>

### **Santiago de Chile**

Es una región mediterránea, que se ubica entre las cordilleras de los Andes y de la Costa. Predominan los relieves montañosos que encierran hacia el centro de la región una amplia y extensa cuenca aérea.

La cuenca de Santiago está limitada al oriente por los faldeos de la Cordillera de los Andes, con cerros que superan los 3.200 m.s.n.m. (Cerro Ramón). Por el oeste, la cordillera de la Costa alcanza alturas sobre 2.000 m.s.n.m. (Cerros Roble Alto), siendo interrumpida por el Valle del Río Maipo, que abre la cuenca hacia el sector sudoeste. La gran cantidad de cerros que rodean la planicie central, dificultan la circulación de vientos, y por ende, la renovación del aire al interior de la cuenca.

### **Lima**

“Se extiende en la llanura aluvial-costera y vertientes de los valles de los ríos Chillón al Norte, Rímac en el Centro y Lurín al Sur, entre la línea costera al Oeste y las primeras estribaciones de las Vertientes Occidentales de los

---

<sup>11</sup> <http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja8.htm>

Andes del Trópico al Este, hasta los 600 m.s.n.m. y en algunas zonas hasta los 800 m.s.n.m.

El clima de la cuenca atmosférica de Lima, como consecuencia de la interacción de los tres factores climáticos semipermanentes: el Anticiclón del Océano Pacífico suroriental, la Cordillera de los Andes y la Corriente Fría de Humboldt, es de permanente aridez debido a las siguientes características:

- El establecimiento de un fenómeno de inversión térmica durante todo el año en los niveles bajos de la tropósfera de la Costa Peruana, en promedio con menor altitud, espesor e intensidad durante los meses de verano (con su base a 255 m.s.n.m., tope a 596 m.s.n.m. y muy débil intensidad), evoluciona hasta alcanzar su mayor altitud, espesor e intensidad al final del invierno (con su base a 675 m.s.n.m., tope a 1490 m.s.n.m. e intensidad de 5°C).
- La temperatura media mensual multianual, durante el verano en las zonas cercanas a la costa, oscila entre 20.2 a 25.8°C y entre 19.8 a 28.2°C en los distritos del Este. En el invierno entre 15.5 a 18.3°C en la zona cercana a la Costa y entre 13.1 a 18.6°C en los distritos del este.
- La precipitación media mensual multianual varía desde 10 mm/año cerca de la línea costera a 40 mm/año en los distritos del Este.
- La velocidad del viento superficial varía entre 3 y 5 m/s con 4 a 8% de calmas, de direcciones S, SSW y SSE en la zona costera; en la parte central el viento varía entre 2 y 4 m/s, de direcciones SSW y WSW, con calmas entre 21 a 42%; y en el lado oriental el viento varía entre 3 y 5 m/s, de direcciones W, SSW y WSW con calmas entre 20 y 40%.
- En verano los días tienen más de 50% de horas de sol; y en promedio desde inicios de otoño hasta finales de primavera, menos de 20%, debido a la

nubosidad estratiforme que se debilita solamente durante los tres meses de verano”<sup>12</sup>.

### 7.1.2 Normatividad de calidad del aire

Las normas que rigen a cada ciudad, establecen las concentraciones máximas permisibles en las cuales no causan efectos sobre la salud de los ciudadanos.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los estándares de calidad del aire que establecen las respectivas autoridades ambientales. Ver Tabla 3.

**Tabla 3. Normas de Calidad del Aire**

Contaminante	Periodo	Bogotá	Lima	Santiago	México
<b>Monóxido de Carbono CO</b>	8 horas	12000 µg/m <sup>3</sup>	10000 µg/m <sup>3</sup>	10000 µg/m <sup>3</sup>	12595 µg/m <sup>3</sup>
	1 hora	40000 µg/m <sup>3</sup>	30000 µg/m <sup>3</sup>	30000 µg/m <sup>3</sup>	No existe
<b>Óxidos de Azufre SO<sub>2</sub></b>	Anual	80 µg/m <sup>3</sup>	80 µg/m <sup>3</sup>	80 µg/m <sup>3</sup>	79 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	350 µg/m <sup>3</sup>	350 µg/m <sup>3</sup>	250 µg/m <sup>3</sup>	341 µg/m <sup>3</sup>
	3 horas	1400 µg/m <sup>3</sup>	No existe	No existe	No existe
<b>Óxidos de Nitrógeno NO<sub>2</sub></b>	Anual	100 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	100 µg/m <sup>3</sup>	No existe
	24 horas	220 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>	No existe	No existe
	1 hora	320 µg/m <sup>3</sup>	No existe	400 µg/m <sup>3</sup>	395 µg/m <sup>3</sup>
<b>Ozono O<sub>3</sub></b>	8 horas	130 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>	No existe
	1 hora	170 µg/m <sup>3</sup>	No existe	160 µg/m <sup>3</sup>	216 µg/m <sup>3</sup>
<b>Partículas suspendidas totales PST</b>	Anual	100 µg/m <sup>3</sup>	No existe	75 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	400 µg/m <sup>3</sup>	No existe	260 µg/m <sup>3</sup>	260 µg/m <sup>3</sup>
<b>Material Particulado menor a 10 micras PM<sub>10</sub></b>	Anual	80 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	180 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>
<b>Material particulado menor a 2.5 micras PM<sub>2.5</sub></b>	Anual	No existe	15 µg/m <sup>3</sup>	No existe	15 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	No existe	65 µg/m <sup>3</sup>	No existe	65 µg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración Propia  
Bogotá: Decreto 1208 de 2003 expedido por el DAMA

<sup>12</sup> [http://www.cleanairnet.org/lac/1471/article-40866.html#h2\\_2](http://www.cleanairnet.org/lac/1471/article-40866.html#h2_2)

Santiago: Resolución 1215 de 1978 expedida por el Ministerio de Salud; Decreto Supremo 185/92 Ministerio de Minería

México: NOM-034-ECOL-1993, NOM-035-ECOL-1993, NOM-036-ECOL-1993, NOM-037-ECOL-1993, NOM-038-ECOL-1993

Lima: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire D.S. 074-2001 PCM

### **7.1.3 Principales contaminantes atmosféricos de cada ciudad según estadísticas**

#### **Bogotá**

“La Red de monitoreo de la Calidad del Aire del DAMA, es el conjunto de equipos de medición fijos, utilizados para medir los contaminantes del aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en un área determinada dentro del territorio nacional.”<sup>13</sup>.

“Material Particulado inferior a 10 micras (PM10); Con respecto al promedio de las concentraciones anuales, en cinco de las diez estaciones que tienen datos suficientes para calcular este valor, no se cumple la norma. El nivel de excedencia alcanza cerca del 30% con respecto al límite establecido.

Ozono (O<sub>3</sub>): presenta niveles superiores a los permitidos según el 948 de 1995 del Ministerio de Medio Ambiente.

Monóxido de Carbono CO: presentó en algunas estaciones del centro occidente de la ciudad niveles superiores a los permitidos”<sup>14</sup>.

#### **Ciudad de México**

“Los contaminantes de mayor preocupación en el Distrito Federal es el Ozono troposférico, el PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>.

---

<sup>13</sup> Red de monitoreo de la calidad del aire. DAMA. Bogotá.

<sup>14</sup> DAMA. Informe mensual de la calidad del aire en Bogotá. Enero 2005

Las concentraciones altas de O<sub>3</sub> que se registran en la ciudad continúan la tendencia a disminuir entre 1990 y el 2003, señalando a éste último como el año de mayor porcentaje de días por debajo del límite en los últimos 14 años, con 31% (112 días).

Las concentraciones por arriba del valor límite de Ozono registradas en la época de lluvia y la época seca fría han disminuido paulatinamente. En el 2003 se presentaron menores porcentajes desde 1990 (63% y 50%, respectivamente). La época del año que representa mayor riesgo para la salud de la población es la seca-caliente, por presentar mayor porcentaje (82%) de días arriba del límite de O<sub>3</sub>.

Esta disminución se refleja en los datos del plan de contingencias ambientales que representa el número de veces por año en ser superada la norma según el contaminante. En el 2003 no se activaron contingencias, y en 2 ocasiones se activó la fase de preemergencia por O<sub>3</sub>.

El Material Particulado inferior a 10 micras, presentó una disminución considerable entre 1999 y 2003. Los años con menos muestreos por arriba del valor límite son 2002 y 2003 que registraron 8,8 y 10%, respectivamente. Estas excedencias ocurren en la época de lluvias de 2001 a 2003 estuvieron abajo del valor permisible. Para el mismo año, se activó la fase de precontingencia<sup>15</sup> para PM<sub>10</sub> solo en una (1) ocasión.

Las Partículas suspendidas totales, aunque el porcentaje de muestreos por arriba de la norma (260 µg/m<sup>3</sup>) ha disminuido paulatinamente, desde 1992, en el 2003 se registraron más del 60% de los muestreos arriba de la norma. Los años con menos muestreos arriba de la norma fueron 2001, 2002 y 2003 con 56, 57 y 63% respectivamente.

---

<sup>15</sup> Ver índice IMECA, Pagina 85

La época seca caliente de 2003 presenta 83% de sus muestreos por arriba de la norma, la época de lluvias de 2003 presenta 33% de sus muestreos arriba de la norma, seguida por las épocas de lluvias de 2001 (20%) y 2002 (20%). La época seca fría de 2003 es la que tiene el menor porcentaje de muestreos arriba de la norma, desde 1990 (67%).”<sup>16</sup>

Entre los principales factores que afectan a la calidad del aire en la zona se encuentran:

- x El entorno montañoso que constituye una barrera que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes.
- x Las frecuentes inversiones térmicas que ocurren en la zona, son un fenómeno que causa un estancamiento temporal de los contaminantes; el estancamiento dura hasta que con el paso del tiempo la inversión térmica se rompe debido al calentamiento de la atmósfera y los contaminantes se dispersan.
- x La intensa constante radiación solar a lo largo de todo el año, favorece a la formación de Ozono.
- x La altitud a la cual se encuentra el valle de México determina que el contenido de oxígeno sea menor que a nivel del mar, lo que contribuye a que los procesos de combustión sean mas contaminantes

### **Santiago de Chile**

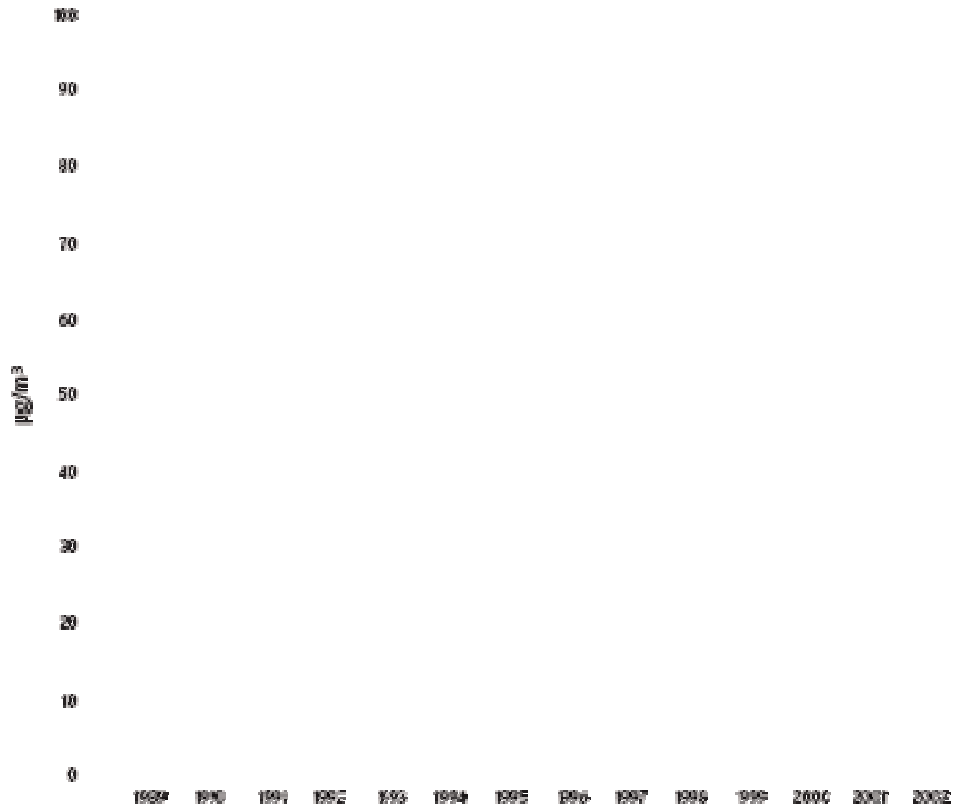
La evolución de los promedios anuales de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la red se muestra en la figura 1, en la que se observa la existencia de una evolución positiva de los niveles de concentración hasta el año 2002 y un aumento el año 2003.

---

<sup>16</sup> Informe anual de la calidad del aire en México. 2003

La situación respecto de la norma anual ha mejorado de forma significativa, pasando de concentraciones que duplicaban el valor de la norma el año 1997 a la situación actual (2003), donde se supera el valor en un 50%.

**Figura 1. Evolución del PM<sub>10</sub> 1989-2002**



**Fuente: Red MACAM-1. 2003**

La figura 2, indica la reducción sostenida de esta fracción en la Red MACAM-1, reducción que alcanza el 50% en el período de análisis. Desde el año 1999, se observan tasas de reducción mucho menores, lo cual es consistente con la experiencia internacional de “rendimientos decrecientes”. Esto obliga a reforzar y aumentar las medidas de reducción de emisiones.

Este efecto también está marcado por los últimos dos años, que presentaron mala ventilación.

**Figura 2. Concentración de PM<sub>10</sub> 1997-2003**



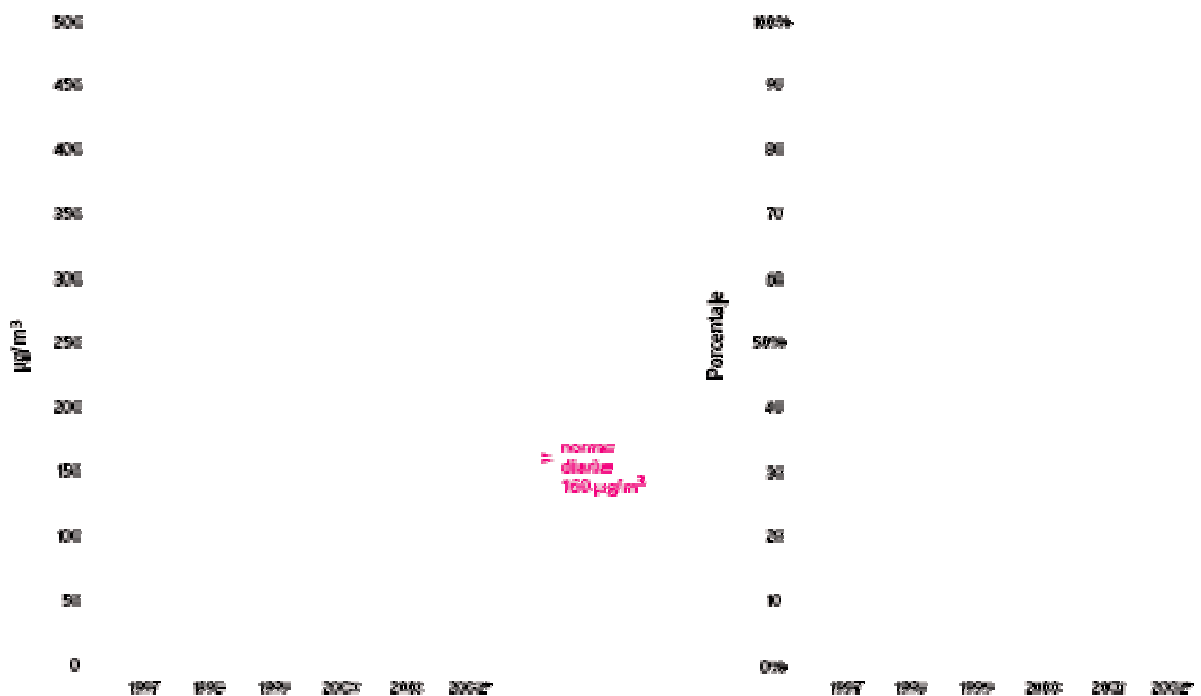
Respecto de la evolución anual que ha tenido el ozono en el tiempo, en la figura se muestra la variación de los niveles de concentración máximos horarios de Ozono en el periodo 1997 y 2002. No se registran grandes



variaciones y es importante señalar que todos estos máximos han sido registrados en la estación Las Condes, estación donde se supera la norma horaria gran parte de los días de la época estival.

La figura 3, da cuenta del porcentaje de días al año en que se supera la norma horaria en alguna estación. Es necesario indicar que estas superaciones se producen en gran medida en la estación Las Condes, seguida por la estación La Florida. Las demás estaciones superan la norma horaria muy pocas veces al año.

**Figura 3. Porcentaje de días al año que es superada la norma**



(\*) Figuras 21 y 22: datos 2002 sólo incluyen período septiembre-diciembre. 1997 considera período abril 4 a diciembre 31

Fuente: SESMA-CIZNAMA RM

## Lima

“El principal problema de la calidad del aire en el área metropolitana de Lima-Callao, es la contaminación por partículas suspendidas de diámetro menor de

10 micras ( $PM_{10}$ ). De acuerdo con los monitoreos realizados por DIGESA en zonas norte y este de Lima los valores de concentración de  $PM_{10}$  son de  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $460 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, superando la norma que establece  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 24 horas.

De acuerdo con cálculos realizados por el Comité de Gestión de Aire Limpio para Lima-Callao, en el año 2000 se emitieron 22.000 toneladas de  $PM_{10}$ .<sup>17</sup>

Los contaminantes primarios son arrastrados por acción del viento hacia el norte y este de la cuenca atmosférica de Lima y el Callao, siguiendo el patrón de vientos dominante.

El área central urbana de Lima es una zona donde se generan y reaccionan los contaminantes. Es posible afirmar que los cerros que rodean al distrito La Molina propician un microambiente receptor y acumulador de contaminantes, en especial el Ozono.

El ozono es detectado con mayor concentración en las zonas altas de las microcuencas de los conos Norte y Este. Por ser un indicador de actividad fotoquímica, en especial durante el verano, el ozono debe medirse también en estaciones “de altura” en cotas superiores a los 150 msnm.

La altura de la capa de mezcla es mayor en verano que en el invierno, por lo que podría suponerse una mayor concentración de contaminantes en los meses invernales. En la campaña de medición de contaminantes en invierno, el  $SO_2$  y el  $NO_2$ , presentaron concentraciones menores que las del verano. La concentración de ozono, en particular, fue más baja debido a la alta nubosidad y el bajo nivel de radiación solar de la temporada, que inhibe reacciones fotoquímicas.

---

<sup>17</sup> FONAM. Contaminación Local. 2003

El NO<sub>2</sub> tiene una gran dispersión en toda la cuenca en el verano, con una trayectoria del CENTRO al Cono ESTE. Por lo anterior, en el verano, la reacción fotoquímica del ozono se registra desde el CENTRO hacia los Conos NORTE, ESTE por transporte. La misma situación global prevalece en el invierno, sin embargo con concentraciones más bajas.

#### 7.1.4 Principales fuentes de contaminación atmosférica de cada ciudad

##### Bogotá

El DAMA desarrolló el “Modelo de la calidad del aire para Bogotá y la Región”, el cual esta próximo a ser publicado. En este estudio, se hace un inventario de fuentes y se describe el estado de la calidad del aire de la ciudad.

En la Tabla 4. se encuentran las emisiones totales por fuente en el perímetro urbano de Bogotá. Las emisiones totales corresponden a las suma de la contribución por tres fuentes: móviles, fijas (industrias, relleno sanitario y comercialización de combustibles), aéreas (aviones).

**Tabla 4. Emisiones totales por fuente**

Contaminante	Emisiones totales por fuente, kg/día			
	Móviles	Fijas	Aéreas	Totales
CO	838776	21912	6694	867383
PM <sub>10</sub>	4456	8062	--	12518
NO <sub>x</sub>	37397	3825	7567	48789
SO <sub>2</sub>	6268	14011	356	20635

Fuente: Modelo de calidad del aire para Bogotá. 2002. DAMA

Como se puede observar, las fuentes móviles producen la mayor cantidad de CO y de NO<sub>x</sub>, las fuentes fijas emiten la mayor porción de PM<sub>10</sub> a la atmósfera y de SO<sub>2</sub>; se observa que las fuentes aéreas contribuyen a la contaminación pero en menor escala.

### **Ciudad de México**

La Tabla 5 indica de la producción porcentual de contaminantes atmosféricos que emite cada fuente. En la cual se observa que en cuestión de PM<sub>10</sub> la principal fuente son las móviles, seguidas de las puntuales y el suelo destapado también tiene una alta incidencia, el PM<sub>2.5</sub> son producidas por las Fuentes móviles e igual que el CO y el NO<sub>x</sub>, y el SO<sub>2</sub> es producido principalmente por las fuentes puntuales seguido por las móviles.

**Tabla 5. Inventario porcentual de emisiones - 2000**

Fuente	Emisiones %				
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
<b>Puntuales</b>	27.2	9.5	70.1	0.5	12.8
<b>De área</b>	4.9	8.2	0.3	0.3	5.5
<b>Móviles</b>	51.1	76	29.6	29.6	81.3
<b>Suelo y vegetación</b>	16.8	6.3	N.A.	N.A	0.4

Fuente: informe anual del estado de la calidad del aire. México. 2003.

“De acuerdo con el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se tiene que del total de vehículos que circulan diariamente en la ZMVM, el 94% corresponde a los vehículos que utilizan gasolina como combustible para su propulsión, el 5% corresponde a aquellos que utilizan diesel y el resto corresponde a los camiones de carga que consumen GLP.

Del parque vehicular que utiliza gasolina, el 52% de los vehículos tienen condiciones tecnológicas que los ubica como unidades altamente emisoras, toda vez que por su edad carecen de motores energéticamente eficientes y

sistemas avanzados de control de la contaminación (unidades 1990 y anteriores); este tipo de unidades aportan cerca del 68% de las emisiones totales que se liberan a la atmósfera de la ZMVM.”<sup>18</sup>

### Santiago de Chile

Las principales fuentes de emisión de contaminantes en esta ciudad son las estacionarias a excepción de la emisión de CO y NO<sub>x</sub> a la atmósfera que la mayor contribución la generan las fuentes móviles. (Ver tabla 6.)

**Tabla 6. Fuentes de Emisión 2000**

	PM10	CO	NOx	VOC	SOx	NH3
	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)	(Ton/año)
<b>Estacionarias</b>	2,597	16,014	8,149	56,264	5,991	28,458
<b>Móviles</b>	2,425	175,586	46,650	24,664	2,197	933
<b>Total 2000</b>	<b>5,022</b>	<b>191,600</b>	<b>54,799</b>	<b>80,928</b>	<b>8,188</b>	<b>29,391</b>

Fuente: CONAMA. Inventario de Emisiones 2000

### Lima

“Según las estimación del Comité de Gestión de Aire Limpio para Lima-Callao, el 67.6% de las emisiones de PM<sub>10</sub> provienen de las fuentes móviles y el 32.4% corresponden al sector industrial. También según estos datos, el 27% de las emisiones provienen de los vehículos destinados al transporte público de pasajeros de los cuales la mayoría utilizan diesel como combustible”<sup>19</sup> (ver tablas 7 y 8).

**Tabla 7. Emisiones de contaminantes de fuentes fijas y móviles. Año 2000. Miles de toneladas (Ktn)**

FUENTE	CO	HC	NOx	PM10
	(Ktn)	(Ktn)	(Ktn)	(Ktn)
<b>Fuentes Móviles</b>	573.54	124.60	92.01	15.43

<sup>18</sup> Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2002-2010

<sup>19</sup> FONAM. Contaminación Local. 2003

<http://www.fonamperu.org/General/Contaminacion.asp>

<b>Fuentes Fijas</b>	2.40	1.51	12.92	7.40
<b>Total Emisiones (Ktn)</b>	<b>575.94</b>	<b>126.11</b>	<b>104.93</b>	<b>22.83</b>

Fuente: Fondo Nacional para el medio ambiente. Lima.2000

**Tabla 8. Contribución porcentual por fuente de contaminación.**

<b>FUENTE</b>	<b>CO (%)</b>	<b>HC (%)</b>	<b>NOx (%)</b>	<b>PM10 (%)</b>
<b>Fuentes Móviles</b>	99.6%	98.8%	87.7%	67.6%
<b>Fuentes Fijas</b>	0.4%	1.2%	12.3%	32.4%
<b>Total Emisiones</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Fondo Nacional para el medio ambiente. Lima. 2000

### 7.1.5 Efectos sobre la salud de los ciudadanos de cada ciudad

“Estimados recientes de la OMS indican que más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a niveles de contaminantes del aire en exteriores que exceden los valores guía recomendados.”<sup>20</sup>

A continuación se describe la relación que existe entre contaminación atmosférica y enfermedades respiratorias agudas, observando que la calidad del aire no es un factor determinante, el incremento de PM<sub>10</sub> contribuye a la circulación de los virus de dichas enfermedades.

#### **Bogotá**

“Si bien en Bogotá durante el periodo 2000-2003 la tasa de mortalidad por neumonía se redujo en cerca de 50% (pasando de 39,1 a 20,2 por 100.000

<sup>20</sup>OPS. Plan Regional sobre calidad del aire urbano y salud para el periodo de 2000-2009.

menores de 5 años) esta reducción no ha sido homogénea en las diferentes localidades.”<sup>21</sup>

**Tabla 9.**

<b>Tasas de mortalidad por neumonía en menores de 5 años 1999- 2003, Bogotá D.C</b>					
<b>Año</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>28,4</b>	<b>25,2</b>	<b>22,4</b>	<b>17,7</b>	<b>17,4</b>
<b>Cada 100.000</b>	<b>41</b>	<b>37</b>	<b>34,4</b>	<b>27,1</b>	<b>26,2</b>
<b>Porcentaje de niños</b>	<b>80,3</b>	<b>80,3</b>	<b>80,3</b>	<b>80,3</b>	<b>80,3</b>

**Fuente: Secretaria Distrital de Salud. 2004**

El grupo poblacional principalmente afectado lo constituyen los menores de 2 años, pues durante el mismo periodo (2000-2003), 80% de las muertes ocurrieron en este grupo etéreo.

Durante el primer semestre de 2004 se presentaron 162 casos de muerte por neumonía, de los cuales 78,3% (127 casos) fueron de niños residentes en Bogotá y 21,6% (35 casos) corresponden a niños procedentes de otros lugares. En el primer semestre de 2003 se registraron 88 muertes por neumonía de niños residentes en Bogotá, lo cual significa, respecto del primer semestre de 2004, un incremento de 44,3%.

En Bogotá, las épocas del año con mayor riesgo de enfermar y morir por enfermedad respiratoria son aquellas de mayor pluviosidad, esto es, de abril a junio, y de septiembre a noviembre de cada año. (Ver figura 4)

<sup>21</sup> Secretaria Distrital de Salud. Lineamientos técnicos y administrativos para la prevención y atención de la enfermedad respiratoria aguda (ERA). 2004

**ASESORAMIENTO TÉCNICO DE LA CAMPAÑA DE DESCONTAMINACIÓN  
ATMOSFÉRICA PARA BOGOTÁ, EN LA FUNDACIÓN CIUDAD HUMANA**

**YIRA BOLAÑOS ENRÍQUEZ**

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ, D.C.; Junio de 2005**