

Capítulo I. La contaminación atmosférica y los riesgos en salud.

La contaminación atmosférica posee una larga historia, el uso de los combustibles es su principal causa. El hombre comenzó a contaminar su entorno aéreo a partir de la utilización del fuego para cocinar sus alimentos y protegerse del frío (Jáuregui, 1993). En los tiempos de los romanos, ya la población se quejaba del humo que llenaba el aire de las ciudades. En la Edad Media, para proteger la salud de los miembros del parlamento, el rey Eduardo I de Inglaterra prohibió que durante las sesiones se quemara carbón (Wark, 1994).

Más tarde, con la creación de la máquina de vapor durante la Revolución Industrial se produjo una rápida instalación de fábricas en toda Europa y América, las cuales arrojaban al ambiente enormes cantidades de humo, iniciando así un cambio radical en el uso de la capa atmosférica urbana, convertida ahora en el destino final de las impurezas producidas por la conversión de energía (Jáuregui, 1993).

La contaminación atmosférica¹ se define como la presencia de sustancias en el aire, en cantidades que pueden ser perjudiciales para la vida, afecta estructuras y materiales y ocasiona cambios en las condiciones meteorológicas o climáticas (Vallejo, 2003). La contaminación del aire puede afectar tanto a escala macro ecológica como a escala micro ecológica. El origen de dicha contaminación estriba en la acción del hombre y las causas naturales.

Aunque no se conocen en su totalidad los contaminantes de la atmósfera, ni su forma de interferir con el medio ambiente y los efectos que producen, un buen número de dichos contaminantes están perfectamente identificados. Un contaminante atmosférico es cualquier sustancia (química o biológica) que cuando se agrega al aire puede modificar sus

¹ Otras definiciones de contaminación atmosférica, ver Anexo A pág.85.

características naturales. Algunos ejemplos de contaminantes son: humo, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios (Flores, 1995).

Entre los principales contaminantes de los que actualmente se cuenta con un registro de sus concentraciones encontramos al ozono, monóxido de carbono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, plomo y las partículas suspendidas (ver Anexo A). Las emisiones a la atmósfera de dichos contaminantes tienen lugar en forma de gases, polvos y aerosoles así como de diversas formas de energía (contaminación térmica, radiactiva, fotoquímica), quedando éstos suspendidos en ella y produciendo la degradación del medio ambiente.

1. Salud y contaminación atmosférica.

Los graves casos de contaminación atmosférica en ciudades como Londres, han demostrado que respirar aire contaminado puede ser peligroso y a veces mortal. En 1880 murieron cerca de 2,200 londinenses, cuando el humo del carbón de las calefacciones y de las industrias se combinó para formar una nube tóxica de gas que contenía dióxido de azufre y partículas de combustión llevadas por el aire (Etze, 2000).

Sin embargo la preocupación acerca de los efectos sobre la salud de la contaminación externa no se materializó hasta finales de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta, cuando los desastres debidos a la contaminación atmosférica en dos continentes llamaron la atención. Primero con la llamada "niebla asesina" de 1948 en la pequeña localidad de Denora, Pennsylvania, que mató a 20 personas (Oláiz, 1999) y más tarde la "niebla" de Londres de 1952 causando un total de 4,000 víctimas (Waller, 1966).

Los efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud humana varían en función de los distintos niveles de concentraciones de los mismos, el tiempo, espacio y tipo de

contaminante. Por ejemplo, el ozono y las partículas PM₁₀ tienden a distribuirse de manera homogénea extramuros en áreas grandes. En cambio contaminantes como el monóxido de carbono tienden a cambiar su dispersión en distancias cortas. A dichas variaciones y al hecho de que las personas realizan actividades en muy distintos lugares, se debe el que los individuos no estén expuestos a las concentraciones de contaminantes registradas en las estaciones de monitoreo (INE/1995-2000).

El efecto en salud de los individuos depende del patrón de exposición, que a su vez se determina por tres factores (Ídem):

- a. El tiempo de permanencia en los distintos micro ambientes,
- b. La concentración de contaminantes presentes en cada uno de estos micro ambientes,
- c. La tasa de exposición de la persona, es decir el tiempo que destine para dormir, caminar, ejercitarse, etc.

Las maneras de afectación de los contaminantes sobre la salud humana dependen de las propiedades físicas y químicas de éstos, así como de la dosis y el tiempo de exposición. Es decir la respuesta-efecto del contaminante depende de la frecuencia y duración de la exposición de la persona a la contaminación, al tipo de contaminante y su concentración, lugar, hora y día de la semana, así como la temperatura y estado del tiempo, entre otros factores como los hábitos de alimentación, si es fumador, su edad, etc.

La exposición a los contaminantes se clasifica en *aguda* y *crónica*, esto dependiendo del tiempo en que estuvo expuesto y el nivel de la concentración del contaminante. La llamada *exposición aguda* es cuando el individuo permanece expuesto a elevadas

concentraciones del contaminante durante un periodo corto, ocasionando daños sistémicos² al cuerpo humano. Por otra parte tenemos la *exposición crónica*, que se caracteriza por un largo periodo de exposición a bajas concentraciones, que produce daños, debido a los factores acumulados y recurrentes.

El daño agudo puede representar signos y síntomas graves, incluso causar la muerte; en cambio los daños crónicos al principio no son graves y con facilidad pueden pasarse desapercibidos o se confunden con distintas afecciones, dando como resultado enfermedades crónicas como el asma o afecciones neurológicas que también pueden causar la muerte. Existen diversos estudios toxicológicos que analizan los efectos de los contaminantes del aire en la salud, a continuación se citan algunos:

Exposición aguda a la contaminación

Los efectos que más se han estudiado en relación a la *exposición aguda* de los contaminantes atmosféricos, son los daños a las funciones pulmonares, así como el incremento de los síntomas respiratorios y la mortalidad causada por afección del sistema respiratorio. La mayoría de estos estudios prestan atención a la mortalidad de las personas. Dichos análisis describen un aumento en la mortalidad total (no incluyen muerte accidental) asociada principalmente con la exposición a partículas en suspensión y ozono. Este aumento en la mortalidad, es debido a complicaciones de origen respiratorio producidas por la exposición a la contaminación atmosférica.

Otros artículos indican que el aumento de las muertes causadas por enfermedades cardiovasculares, están también ligadas indirectamente a la contaminación del aire. Ambas causas de muerte están asociadas con la exposición a PM₁₀ y ozono, las muertes

² Que afecta a muchos órganos o sistemas del cuerpo.

mencionadas son atribuibles a la contaminación si se presenta en individuos que padecen enfermedades cardíacas y/o respiratorias (Neas, 1999).

Además de la mortalidad, un gran número de enfermedades agudas han sido relacionadas con la exposición a los contaminantes del aire, como el ozono y partículas en suspensión, entre ellas encontramos a las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, bronquitis, pulmonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y tos con flema (Pope III, 1991).

Hay tres estudios que vale la pena mencionar. En un estudio de seis ciudades de Estados Unidos, Dockery *et al* (1993), observó la asociación entre concentraciones de (PST)³ y PM₁₀ con la mortalidad diaria total, dicha asociación es más evidente con PM₁₀. El riesgo relativo de mortalidad más alto correspondió a Steubenville, Ohio, que tiene la concentración más alta de PM₁₀.

En Filadelfia, Schwartz (1999) estratifica por grupos de edad y causa de muerte, observando mayor riesgo relativo de mortalidad en individuos mayores de 65 años de edad y en personas con afección pulmonar obstructiva crónica. En el valle de Utah, Pope III *et al* (1992), encontró asociación entre la mortalidad diaria y los niveles de PM₁₀, a partir de 100 µg/m³. Es necesario mencionar que a diferencia del ozono (O₃) las concentraciones intramuros de PM₁₀ son semejantes a las extramuros (Pope III, 1992). Esta particularidad de las concentraciones de PM₁₀ debe de ser considerada al formular programas de control de este contaminante.

³ Partículas suspendidas totales

Exposición crónica a la contaminación

Los efectos dañinos en la salud derivados de la *exposición crónica* son semejantes a los efectos por la exposición aguda. La exposición crónica a la contaminación atmosférica se relaciona con el aumento de enfermedades respiratorias (como la bronquitis). Hay evidencia limitada que sugiere que los individuos que viven por largos periodos en regiones de altas concentraciones de contaminación de PM₁₀, poseen una mayor obstrucción pulmonar que los que habitan en regiones con bajas concentraciones de PM₁₀ (Churg, 2000).

Los mecanismos que causan estas enfermedades deben de ser similares a aquellos que se presentan durante la exposición aguda. Un efecto crónico bien documentado de exposición crónica a la contaminación del aire es el cáncer, aproximadamente el 70 a 80% de todos los tipos de cáncer son de dicho origen. Se conoce que sustancias contaminantes como el diesel, tienen características mutativas y como se sabe, la mutación de las células es el paso esencial para que una célula sana se convierta en una cancerosa. Además que el estado inflamatorio crónico como el de las mucosas, causado por las partículas en suspensión, puede conducir al individuo a un proceso canceroso.

Es importante hacer mención que las combinaciones de algunos contaminantes del aire, pueden resultar más dañinas que el contaminante aislado. En un estudio realizado en dos grupos de individuos voluntarios los cuales fueron expuestos al ozono, el primer grupo fue expuesto previamente a Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) y el otro grupo de personas no, se obtuvo como resultado que el primer grupo había sufrido efectos tóxicos más severos que el grupo que no había sido expuesto anticipadamente al otro contaminante (Borja, 1999). Otras mezclas que han demostrado ser más tóxicas que los compuestos individuales

incluyen Dióxido de Azufre (SO₂) - ozono, humo negro-O₂ y PM₁₀ - ozono (Katsouyanni, 1995). Por ello es necesario desarrollar modelos y protocolos para analizar las distintas interacciones entre los contaminantes medioambientales.

Por último, cabe destacar que ciertos grupos de la población son más susceptibles que otros a los efectos de la contaminación atmosférica, como son los ancianos e infantes, los mecanismos de defensa de estos grupos son menos eficaces que el resto de la población. El aumento en la mortalidad también puede asociarse a los hábitos, como el de fumar. Este fenómeno se debe a que los fumadores poseen un 30% de disminución de su capacidad pulmonar comparada a las personas de la misma edad que no fuman (Borja, 1999).

2. Partículas en suspensión

Por partícula se entiende toda aquella materia con un tamaño entre 0.0002 µm y 500 µm y se les denomina PST.⁴ Existen distintas fuentes de emisión de dichas partículas desde el polen de las flores hasta las erupciones volcánicas además de las fuentes artificiales. Las partículas cuyo tamaño es menor a 10 micrómetros (PM₁₀) son las que producen más daño al ser humano, dado que por su tamaño penetran al sistema respiratorio de los individuos (Jiménez, 2001).

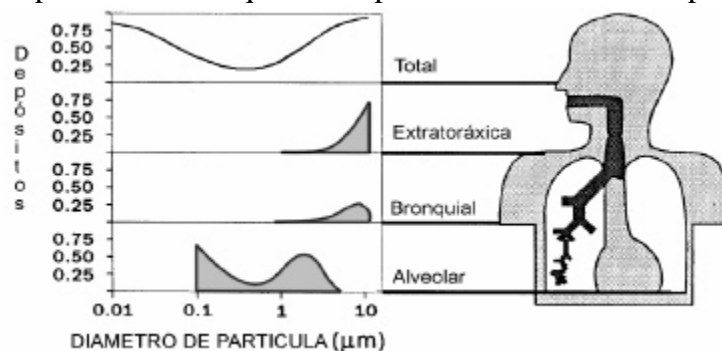
Otro efecto de la suspensión de partículas es la reducción en la visibilidad, que es resultado de la absorción y la dispersión de la luz por los materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. Además el material particulado incrementa las reacciones químicas en la atmósfera, aumenta la posibilidad de precipitación, niebla, nubes y reduce la radiación solar; esto provoca cambios en la temperatura ambiental y en las tasas biológicas de crecimiento de las plantas (Wark, 1994).

⁴ Las partículas en este rango de tamaño tienen una vida en suspensión que varía desde unos cuantos segundos hasta varios meses (Wark, 1994).

Como se mencionó anteriormente, las llamadas partículas PM_{10} son las de mayor preocupación para la salud humana. Esto se debe no sólo a su capacidad de penetración y permanencia en el sistema respiratorio, sino también a la gran cantidad de materiales tóxicos que pueden transportar al interior del organismo. Estas sustancias afectan la salud a corto y a largo plazo, ya que además de afectar al sistema respiratorio, lo utilizan como una vía para daños subsecuentes a todo el organismo. Además, las partículas poseen distintos efectos tóxicos, dadas sus inherentes características químicas y/o físicas (Wark, 1994).

El tamaño de las partículas determina hasta qué punto éstas pueden penetrar en el sistema respiratorio. La figura I.1 muestra la habilidad de penetración de las partículas en función del tamaño (ver figura A.3). Una vez que las partículas han entrado en el tracto respiratorio, dependiendo de su diámetro, éstas pueden desplazarse a sitios diferentes dentro del sistema respiratorio. Las regiones con mayor acumulación de partículas son la extratorácica (los orificios nasales y laringe), bronquial (la tráquea, bronquial y terminal bronquial) y alveolar (los bronquios y las bolsas alveolares). Más del 50% de las partículas cuyo diámetro es menor a $0.02 \mu m$ son depositadas en los pulmones, provocando la obstrucción de éstos e infecciones en los mismos (Borja, 1999).

Figura I.1
Niveles de profundidad en que son depositados los materiales particulados



fuelle: PROAIRE 2002-2010

Fuentes del material particulado

Las partículas primarias pueden provenir de fuentes naturales, dentro de las cuales se incluyen los procesos eólicos⁵, evaporación de agua de mar y condensación de sal, residuos de vegetación, incendios forestales, terremotos y erupciones volcánicas; o de fuentes antropogénicas⁶ entre las que se encuentran las emisiones debidas al uso de combustibles fósiles en las instalaciones eléctricas, en los procesos industriales y en los vehículos automotores, la construcción y la demolición de edificios, los procesos metalúrgicos y de minería, los petroquímicos y la industrialización de la madera, la molienda, los silos utilizados en la agricultura, la erosión de suelos talados, la disposición y reciclaje de residuos y el polvo de caminos pavimentados que puede ser natural o provocada por el hombre (ver figura A.3). Por su parte las partículas secundarias de origen natural tienen su fuente en la oxidación de compuestos orgánicos emitidos por la vegetación o por la descomposición de materia orgánica y la reducción de compuestos de azufre provenientes de ambientes anaerobios⁷(Ruiz, 1999).

El material particulado más pequeño es denominado la fracción fina de las partículas ($PM_{2.5}$)⁸, contiene tanto partículas primarias provenientes del material volatilizado en las cámaras de combustión y recondensado, como las partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de gases precursores. Las partículas gruesas están formadas por minerales como el carbón orgánico, metales, residuos orgánicos y bioaerosoles. Este tipo de partículas poseen periodos de suspensión en la atmósfera más cortos, por lo que sus impactos pueden ser claramente identificados (Ídem).

⁵ Movimiento de dunas, arrastre y depósito de sedimentos transportados por el viento.

⁶ De origen humano

⁷ Sin oxígeno

⁸ Partículas cuyo diámetro es menor a 2.5 micras

En resumen en el presente capítulo se dio a conocer que las PM_{10} causan graves problemas en la salud de las personas, dadas su características de penetración y permanencia en el sistema respiratorio. Además se destaca la abundancia de las partículas PM_{10} en la atmósfera, ya que son generadas no solo por la acción de hombre sino además por fuentes naturales, lo cual dificulta su control. Otro aspecto que vale la pena recordar es que las concentraciones PM_{10} intramuros, son similares a las extramuros, a diferencia de otros contaminantes como es el ozono. Esto último ocasiona que la exposición al contaminante sea constante.

No se puede dejar pasar el llamado efecto de combinación de contaminantes, este efecto nos dice que al ser mezclado PM_{10} con otros contaminantes atmosféricos se potencializan sus efectos nocivos. Con todo lo anterior se puede concluir, que existen particularidades de las PM_{10} que sugieren necesario llevar a cabo un análisis con respecto a los daños que ocasionan en la salud de los individuos.

En el siguiente capítulo se discuten las características particulares de la ZMVM que propician las altas concentraciones de contaminación atmosférica, así como los niveles que llegan a registrar dichos contaminantes.