

Partículas suspendidas

Principales consideraciones

- Las partículas suspendidas (materia particulada o partículas de materia, PM) en la atmósfera son una causa subyacente de ciertos problemas graves para la salud humana, incluidas cardiopatías y enfermedades respiratorias. Las PM tienen también efectos adversos en la vegetación y los materiales de las edificaciones, además de contribuir a la neblina regional y los problemas de visibilidad. Las partículas y las emisiones que contribuyen a su formación se transportan en el aire a través de las fronteras estatales, provinciales, nacionales y continentales.
- Diversas fuentes naturales y antropogénicas generan emisiones directas de PM al aire, entre ellas el equipo pesado, los incendios, la quema de basura y el polvo derivado de los caminos de terracería, la trituración de piedra y los sitios en construcción. Las partículas suspendidas se forman también a partir de sustancias químicas precursoras emitidas por los vehículos, las centrales eléctricas y las plantas industriales.
- En algunas zonas de América del Norte los niveles de PM exceden las normas nacionales para la protección de la salud humana.
- A partir de 1990 las emisiones totales de PM y sus precursores han declinado en América del Norte, pero la tendencia en materia de exposición humana varía entre los tres países debido a diferencias en las condiciones locales y los métodos de registro.

Las *partículas suspendidas* son una mezcla de partículas sólidas y gotículas líquidas que flotan en el aire. Entre sus componentes figuran sulfatos, nitratos, amonio, carbón orgánico, carbón mineral, metales y polvo de tierra.

¿Cuál es la problemática ambiental?

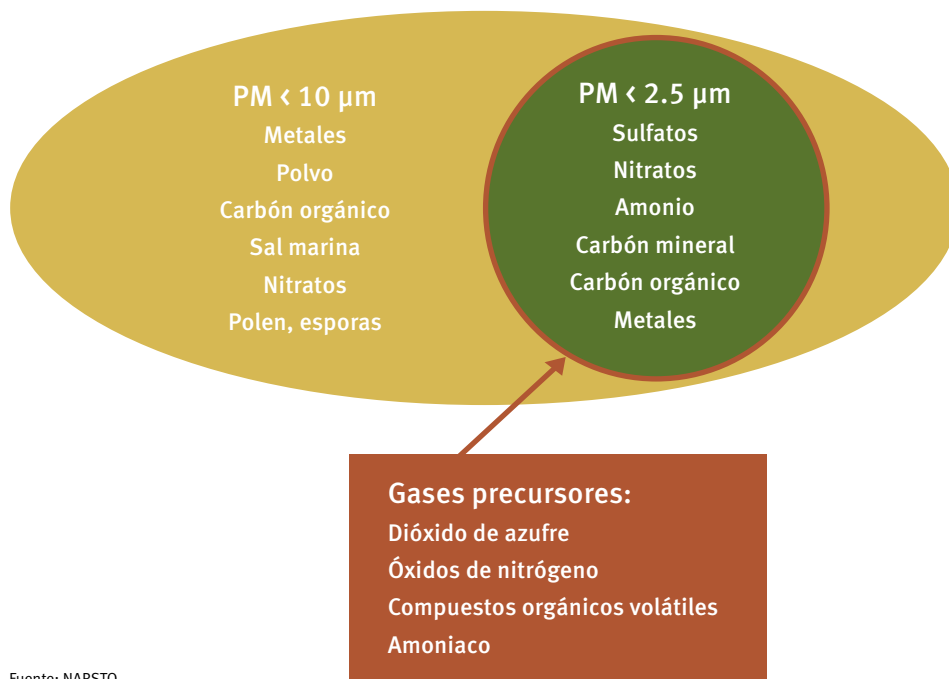
Las partículas suspendidas se componen de partículas sólidas y gotículas líquidas que se encuentran en el aire. Lo mismo pueden ser suficientemente grandes como para ser detectadas a simple vista, que mucho más pequeñas que el diámetro de un cabello humano. La masa ambiental de PM es una mezcla compleja muy dependiente de las características de la fuente.

El muestreo de partículas se hace por lo general en dos rangos, según el tamaño: las $PM_{2.5}$ o partículas “finas”, cuyos diámetros aerodinámicos son iguales o inferiores a 2.5 micrómetros (μm), y las PM_{10} , que comprenden las partículas finas y a las que se agregan partículas “gruesas”

con diámetros aerodinámicos de hasta 10 μm (cerca de la séptima parte del diámetro de un pelo humano) (véase la gráfica). Dependiendo de su tamaño, las partículas se comportan de manera distinta en la atmósfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros; las partículas más grandes no se sostienen en el aire mucho tiempo porque tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen.

En general, la parte gruesa de las PM_{10} se componen en buena medida de partículas primarias emitidas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) como por las actividades humanas (labores agrícolas o de construcción,

Composición representativa de las partículas suspendidas



Fuente: NARSTO.

Estudio de caso – Emisiones de diésel en la región fronteriza de Estados Unidos con México



Las emisiones emitidas por el combustible diésel son fuente de partículas y contaminación atmosférica peligrosas. Las industrias camionera, naviera y ferrocarrilera son responsables de la mayor parte de las emisiones de diésel en la región fronteriza de Estados Unidos con México. Otra fuente importante de esas emisiones en ruta son los autobuses escolares, los camiones de basura y los vehículos municipales; en tanto que, fuera de ruta, las mayores fuentes móviles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ son los motores diésel de los vehículos de construcción y la maquinaria agrícola.

A medida que la frontera Estados Unidos-México se abre más en términos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se prevé un aumento en el transporte camionero a través de las fronteras. Las emisiones diésel empeorarán si la mayoría de las flotas camioneras de México conserva vehículos diésel construidos antes de 1993, año en que los fabricantes de motores comenzaron a incorporar tecnología para reducir las emisiones y mejorar el desempeño y la economía de combustible.

Las emisiones de diésel contribuyen de modo tan importante a la contaminación que actualmente se imparten programas de reacondicionamiento y colaboración para reducirlas. En enero de 2006 México modificó sus normas sobre la gasolina y el diésel. Para la región fronteriza se incluyó un calendario acelerado con la meta de abastecer la región con diésel ultra bajo en azufre en enero de 2007.

Al respecto, el Distrito de Control de la Contaminación Atmosférica de San Diego está reacondicionando con catalizadores por oxidación 60 camiones diésel de servicio pesado. Estos sistemas reducen las PM_{10} en cerca de 25 por ciento. Por su parte, el Distrito Escolar Independiente de Laredo (Texas) está en proceso de modificar 50 autobuses escolares para utilizar diésel ultra bajo en azufre, proyecto similar al que aplica el Distrito Escolar de Río Rico, Arizona. Ambos proyectos reducirán la exposición de los escolares a las partículas finas y sirven como proyectos modelo de demostración para otros distritos escolares a ambos lados de la frontera.

polvo de caminos de terracería, quema residencial de leña o actividades industriales). Las $PM_{2.5}$, por el contrario, tienden a componerse más de partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de reacciones químicas que entrañan emisiones precursoras como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH_3).

¿Por qué es importante este asunto para América del Norte?

Las partículas suspendidas tienen efectos dañinos en la salud humana y el medio ambiente. A pesar de los esfuerzos de los tres países de América del Norte para reducir su presencia, las partículas suspendidas todavía exceden las normas de calidad del aire en algunas zonas.

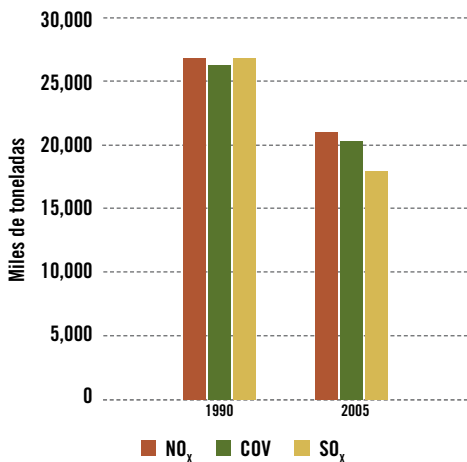
Efectos de las partículas suspendidas

Las investigaciones indican que la exposición a la contaminación ocasionada por partículas suspendidas se vincula con miles de casos de defunción y problemas generalizados de salud. Numerosos estudios han encontrado relación entre las partículas y la agravación de enfermedades cardíacas y respiratorias, como asma, bronquitis y enfisema, además de varias formas de cardiopatías. Las partículas finas tienen mayores efectos en la salud que las gruesas porque pueden penetrar los pulmones con más profundidad y, por ende, provocar más daño. Los grupos vulnerables que parecen estar en mayor riesgo ante los efectos de las partículas incluyen a los niños, los adultos mayores y las personas con enfermedades cardiopulmonares, como asma o enfermedades cardíacas congestivas.

La deposición de partículas afecta también el medio ambiente al alterar los ciclos químicos y de nutrientes en suelos y aguas superficiales. Por ejemplo, la deposición de partículas con contenido de nitrógeno y azufre puede cambiar el equilibrio de nutrientes y la acidez de los medios acuáticos, con lo que se altera la composición de especies y la capacidad de amortiguamiento. Algunas partículas pueden también corroer la superficie foliar e interferir con el metabolismo de las plantas. Las PM también ensucian y erosionan materiales y edificaciones, incluso monumentos, estatuas y otros objetos de importancia cultural.

Además de los efectos en la salud humana y el medio ambiente, las PM finas son también uno de los principales factores en la reducción de visibilidad. Este tipo de niebla regional es muchas veces detectable en parques y áreas silvestres, donde los eventos de visibilidad baja pueden resultar en pérdida de ingresos por concepto de turismo.

Emisiones atmosféricas de precursores de PM en América del Norte



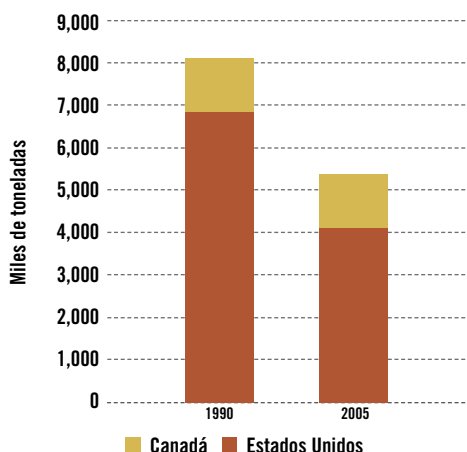
Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency*) e Instituto Nacional de Ecología de México (los datos más recientes de México corresponden a 2002, no a 2005).

Reducción de emisiones

Los motores diésel, la quema de residuos y las fuentes industriales son importantes emisores directos de partículas finas. De 1990 a 2005 las emisiones atmosféricas directas de partículas finas en Canadá y Estados Unidos disminuyeron en alrededor de un tercio (véase la gráfica). Sólo las emisiones canadienses y estadounidenses de PM_{2.5} se pueden presentar en este periodo, ya que los respectivos cálculos de México están disponibles únicamente para 1999. A ese año, la contribución de México al total de las emisiones de PM_{2.5} en América del Norte fue de alrededor de siete por ciento.

Debido a que las partículas suspendidas también se forman en la atmósfera a partir de

Emisiones atmosféricas de PM_{2.5} en Canadá y Estados Unidos



Fuentes: Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (*Environment Canada*) y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*).

emisiones de precursores —NO_x, SO₂, COV y NH₃—, es importante entender qué actividades humanas contribuyen a los inventarios de éstos. En cuanto a las emisiones de NO_x, las centrales eléctricas que operan con combustibles fósiles son fuentes importantes en Estados Unidos y México, en tanto que en los tres países el transporte da cuenta de una proporción importante. Respecto de las emisiones de SO₂, las termoeléctricas son las principales fuentes en Estados Unidos y México, mientras que en Canadá lo son las plantas fundidoras. Los compuestos orgánicos volátiles se producen a partir de fuentes similares en los tres países: combustibles, solventes y sector de petróleo y gas, pero en Canadá la quema residencial de leña es también relevante. Para el caso del amoníaco, la agricultura es una fuente común en toda la región. En total, en América del Norte las emisiones de los precursores de partículas suspendidas han disminuido desde 1990 (véase la gráfica).

Monitoreo de las tendencias de las partículas suspendidas

En la actualidad se dispone de gran cantidad de datos sobre las PM en América del Norte, derivados de varias redes con diversas técnicas de medición. Sin embargo, la caracterización de las tendencias y patrones de la región al respecto está limitada por la falta de congruencia entre estos conjuntos de datos y la falta de estaciones de monitoreo y tecnología de medición adecuada en algunas zonas, así como por diferencias en los métodos para la preparación y presentación de los resultados. Resulta igualmente difícil derivar tendencias significativas para la región debido a que las condiciones tienen grandes variaciones por zonas. En los tres países de América del Norte, no obstante, el monitoreo disponible indica que en algunas zonas los niveles de partículas exceden las normas nacionales correspondientes.

En Canadá, no hubo tendencia nacional o regional estadísticamente significativa de incremento o decremento en exposición a PM_{2.5} en el periodo 2000-2005. Entre 2003 y 2005, al menos 30 por ciento de los canadienses vivía en comunidades con niveles de PM_{2.5} por encima de la meta de la norma pancanadiense. Las comunidades afectadas se ubican en el sur de Ontario, el sur de Quebec y Columbia Británica.

Aunque las concentraciones de PM en Estados Unidos han disminuido en general en el ámbito nacional, las normas nacionales se siguen excediendo todavía en docenas de áreas metropolitanas. En 2006 alrededor de 14.7 millones de personas habitaban en municipios

con niveles de PM₁₀ por encima de la norma nacional de calidad del aire y 66.9 millones vivían en municipios que rebasan la norma anual y diaria para PM_{2.5}.

No se dispone de datos sobre las concentraciones de PM_{2.5} en la mayoría de las ciudades de México, pero sí se tienen mediciones de PM₁₀ de diversas áreas metropolitanas. En 2005 la norma para PM₁₀ se rebasó 173 días en Toluca, 163 en Monterrey, 51 en Guadalajara, 34 en la Ciudad de México y 11 en Puebla. Durante el pasado decenio la mayoría de las ciudades monitoreadas ha experimentado una tendencia a reducir el número de días por encima de la norma, con excepción de Monterrey y Toluca. En 2005 cuando menos 27 por ciento de los mexicanos vivía en municipios con concentraciones de PM₁₀ por encima de la norma al menos once días por año.

Movimiento transfronterizo

Los esfuerzos por reducir las emisiones de partículas a efecto de cumplir con las normas sobre calidad del aire en América del Norte se desdibujan por el hecho de que los niveles de las partículas suspendidas no sólo dependen de la contaminación local, sino que también se ven afectados por la transportada a través de entidades federativas y fronteras nacionales. Las partículas pueden permanecer varios días o algunas semanas, según su tamaño y la tasa de eliminación de la atmósfera mediante, por ejemplo, la precipitación. De ahí que las partículas en una zona determinada puedan lo mismo ser de origen local que provenir de fuentes ubicadas a cientos o miles de kilómetros. Las contribuciones de fuentes distantes de las áreas urbanas de la costa oriental de América del Norte pueden representar entre 50 y 75 por ciento de la masa total observada de concentración de PM_{2.5} en una zona urbana específica.

El movimiento transfronterizo es importante en la región compartida por Canadá y Estados Unidos. En 2005 las concentraciones en las estaciones del sur de Ontario registraron importantes contribuciones procedentes de Estados Unidos, y los niveles en el sur de Quebec fueron afectados por la contaminación tanto de aquel país como de Ontario. De igual modo, las emisiones de PM_{2.5} y sus precursores en Canadá generaron elevadas concentraciones de dichas partículas en la franja oriental de Estados Unidos.

En la región fronteriza entre Estados Unidos y México, el valle del río Bravo registró en general niveles por debajo de las normas estadounidenses para PM₁₀ entre 2001 y 2005, pero cuatro áreas de monitoreo excedieron las nor-



Incendios en la península de Yucatán y el sur de México, 2003. Foto: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*).

mas (ambos Nogales, Tijuana-San Diego, Ciudad Juárez-El Paso y Mexicali-Valle Imperial). Durante este periodo la zona de Mexicali-Valle Imperial registró regularmente concentraciones anuales de PM_{10} más de cuatro veces por encima de la norma de Estados Unidos.

Asimismo, de manera periódica, los incendios en un país pueden contribuir a generar altas concentraciones de partículas en una nación vecina. Por ejemplo, durante abril y mayo de 2003 la calidad del aire en Texas, Oklahoma y otros estados sureños registró grandes cantidades de partículas en aerosol suspendidas o transportadas como humo de los incendios en la península de Yucatán y el sur de México (véase la fotografía). Las plumas de humo, que afectaron en forma considerable la visibilidad y la calidad del aire de las regiones costeras del Golfo de México, fueron suficientemente grandes para generar patrones de circulación en la atmósfera que atraparon aerosoles de humo y otras partículas en la troposfera baja, con lo que la calidad del aire empeoró.

La contaminación por partículas puede también entrar en América del Norte procedente de otra región; se ha rastreado transporte intercontinental de partículas suspendidas en forma de polvo y arena desértica procedentes de África y Asia. Aunque este transporte de polvo de Asia y África no contribuye de modo importante a los promedios anuales de concen-

traciones en América del Norte, sí puede ocasionalmente contribuir de manera significativa a las concentraciones diarias. Por ejemplo, en el verano de 1997 una pluma del norte de África contribuyó a las concentraciones de PM_{10} en sitios del área de Houston, Texas, con cantidades de hasta 15-20 microgramos por metro cúbico durante dos días.

¿Cuáles son sus vínculos con otras cuestiones ambientales de América del Norte?

Las partículas suspendidas son elementos importantes en relación con varias cuestiones ambientales, en particular el ozono troposférico, el cambio climático y la calidad del agua.

Ozono troposférico

Las $PM_{2.5}$ y el ozono de la troposfera están estrechamente relacionados debido a que comparten precursores, fuentes y procesos meteorológicos comunes. Dada esta cercana relación, los cambios en las emisiones de un contaminante pueden conducir a modificaciones en las concentraciones tanto de partículas suspendidas como del ozono troposférico. Este descubrimiento es de particular importancia porque en regiones como la franja oriental de Estados Unidos o el sureste de Canadá se registran concentraciones elevadas de ambas clases de contaminantes durante la misma

estación, mientras que en otras regiones, como el Valle de San Joaquín, las respectivas concentraciones elevadas ocurren en temporadas opuestas.

Cambio climático

Todas las partículas suspendidas tienen un efecto en el cambio climático al dispersar la radiación entrante y, en menor grado, también la saliente. El carbón mineral y otras partículas oscuras absorben la energía radiada. Las partículas gruesas y las nubes de gotículas formadas por la condensación de vapor de agua en las partículas tienen también efectos de irradiación que pueden acarrear repercusiones locales y globales en el cambio climático.

Calidad del agua

Las partículas suspendidas y sus precursores —en particular el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoníaco— se pueden transportar grandes distancias en el viento y, a fin de cuentas, depositarse en el suelo o el agua. Este depósito genera acidez en lagos y arroyos; altera el equilibrio de los nutrientes de las aguas costeras y las grandes cuencas hídricas, y estimula la eutrofización; agota los nutrientes del suelo; daña los bosques vulnerables y los cultivos, y afecta la biodiversidad de los ecosistemas. Las partículas conducen también componentes tóxicos como el mercurio, lo que puede degradar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. 🌿