

AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

**ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO  
PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub> EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**ALTERNATIVES FOR REDUCTION OF PM<sub>10</sub> AND PM<sub>2.5</sub> PARTICULATE  
MATTER IN BOGOTA CITY**

Milena Estefany Zea Castro  
Ingeniera Ambiental, estudiante de especialización  
Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales  
Bogotá, Colombia.  
est.milena.zea@unimilitar.edu.co

**Artículo de Investigación**

**DIRECTOR**

**Ph.D. Ximena Lucía Pedraza Nájjar**

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)  
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec  
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología - Universidad Politécnica  
de Madrid (España)  
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)  
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana  
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto  
  
Gestora Especialización en Gerencia de la Calidad - Universidad Militar Nueva Granada  
ximena.pedraza@unimilitar.edu.co; gerencia.calidad@unimilitar.edu.co



La U  
**acreditada**  
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS  
NATURALES  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
NOVIEMBRE 2020**

**ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO  
PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub> EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**ALTERNATIVES FOR REDUCTION OF PM<sub>10</sub> AND PM<sub>2.5</sub> PARTICULATE  
MATTER IN BOGOTA CITY**

Milena Estefany Zea Castro  
Ingeniera Ambiental, estudiante de especialización  
Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales  
Bogotá, Colombia.  
est.milena.zea@unimilitar.edu.co

**RESUMEN**

En la ciudad de Bogotá, la dinámica de crecimiento poblacional junto con el aumento de las actividades industriales generan un incremento en las tasas de motorización, así como un consumo mayor de combustibles fósiles y mayor producción de diferentes contaminantes en la atmósfera. Las partículas en suspensión, conocidas como material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, son los principales contaminantes ambientales presentes en la ciudad y están incluidos dentro de los contaminantes criterio, debido a que contribuyen al deterioro de la calidad de aire y traen serios problemas de salud a más personas en comparación a cualquier otra de las sustancias tóxicas presentes en la atmósfera. Los impactos a la salud humana se producen al ingresar al organismo principalmente por medio del aire, causando procesos inflamatorios o variaciones metabólicas en el aparato respiratorio y cardiovascular, lo que influye en la morbilidad y mortalidad de las personas pertenecientes a los grupos más vulnerables de la población. Teniendo en cuenta lo anterior, se expondrán diferentes alternativas que permitan mitigar la presencia del material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) usando las hojas de las plantas como agente principal para remover contaminantes atmosféricos por medio de procesos como la fotosíntesis, deposición seca y almacenamiento de carbono. Además de concluir, que con ayuda de las áreas verdes urbanas se puede interceptar el material particulado, reduciendo así sus emisiones, mitigando el efecto invernadero y mejorando a su vez la calidad de aire para incidir positivamente en la salud pública de Bogotá.

**Palabras clave:** material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), actividades industriales, combustibles fósiles, contaminantes criterio, atmósfera, salud pública de Bogotá, calidad de aire, aparato respiratorio y cardiovascular, áreas verdes urbanas.

## ABSTRACT

Population growth dynamics and industrial activities increase in Bogota generate a rise in motorization rates, as well as greater consumption of fossil fuels and higher production of different pollutants in the atmosphere. Suspended particles, known as PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter, are the prime environmental pollutants present in the city. These particles are included within the criteria air pollutants because of their deteriorating air quality and health problems compared to any other toxic substances present in the atmosphere. The impacts on human health occur when entering the body mainly through the air, causing inflammatory processes or metabolic variations in the respiratory and cardiovascular system, which influences the morbidity and mortality of people belonging to the most vulnerable groups of the population. Taking into account the above, different alternatives will be presented to mitigate the presence of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), using plant leaves as the principal-agent to remove atmospheric pollutants through processes such as photosynthesis, dry deposition, and storage of carbon. Also concluding that, with the help of urban green areas, particulate matter can be intercepted, reducing its emissions, mitigating the greenhouse effect, and improving air quality to positively affect the public health of Bogotá.

**Keywords:** particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), industrial activities, fossil fuels, criteria air pollutants, atmosphere, the public health of Bogotá, air quality, respiratory and cardiovascular system, urban green areas.

# AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

## INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica, Bogotá es considerada una de las ciudades con mayor contaminación atmosférica, debido principalmente a que las dinámicas de crecimiento poblacional se presentan de una manera exponencial. Este comportamiento se evidencia en su mayoría, en los centros urbanos que se localizan en los países con economías en desarrollo. (Franco, 2012).

Desafortunadamente, este crecimiento descontrolado genera un riesgo eminente tanto para el ambiente, como para la salud de las personas y la calidad de vida de estas. Esto es ocasionado porque a medida que las ciudades crecen se aumentan las actividades industriales, hay un incremento en las tasas de motorización, así como un consumo mayor de los combustibles fósiles y con esto la producción de mayores emisiones de diferentes contaminantes en la atmósfera (Franco, 2012). Adicionalmente, los sistemas de transporte ineficientes y congestionados, junto a la mala calidad de los combustibles, hacen un aporte significativo en el deterioro de la calidad del aire de los centros urbanos (García, 2018).

Las partículas en suspensión, conocidas como material particulado (PM) son los principales contaminantes ambientales y están incluidos en los contaminantes criterio, debido a que afectan a más personas en comparación a cualquier otra de las sustancias tóxicas presentes en la atmósfera (Pereira, 2017).

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, incluyó en la Resolución 610 de 2010, siete contaminantes criterio: partículas suspendidas totales (PST), material particulado menor a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) y menor a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), monóxido de carbono (CO), ozono ( $O_3$ ), óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ ) (García, 2018).

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

El material particulado, está compuesto por sulfato, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbono negro, polvo mineral y agua (World Health Organization, 2018). Se mide constantemente en Bogotá, en las 13 estaciones fijas de monitoreo y en la estación móvil pertenecientes a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB), además de tomar datos de otras de las emisiones antropogénicas, controladas por normas de calidad de aire y de emisión. (Caballero, 2018).

De acuerdo con su tamaño se puede clasificar como material particulado grueso y fino; las partículas gruesas poseen un diámetro alrededor de las 10 micras ( $PM_{10}$ ) pueden atravesar directamente al sistema respiratorio, alcanzando la zona traqueobronquial. Por otro lado, las partículas finas tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a  $2,5 \mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) y pueden cruzar la barrera pulmonar, entrando en el sistema sanguíneo hasta los alvéolos pulmonares (Pereira, 2017).

Existen dos principales fuentes de material particulado: la primera es de origen primario y es el que se emite de forma directa al aire, es decir, naturalmente o por alguna actividad humana (automóviles, combustión, buses y camiones de carga, quema de diésel, industrias, obras de construcción, vías despavimentadas por la resuspensión de partículas, chimeneas, quema de biomasa y minería). Por otro lado, se encuentra la fuente de origen secundaria y es el material particulado producido en la atmósfera al generarse reacciones químicas a partir de gases precursores, resaltando los generados por reacciones fotoquímicas, en su mayoría en zonas urbanas, donde los hidrocarburos volátiles, óxidos de nitrógeno y ozono reaccionan en condiciones de luz solar intensa y generan smog fotoquímico (CEPAL,N., 2020).

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

Se ha determinado gracias a la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) que los principales emisores de material particulado es la industria y las fuentes móviles. Al tener en cuenta el impacto de la exposición a la población, se puede inferir que las fuentes móviles tienen una mayor afectación, ya que las fuentes de emisión están más cerca de peatones, ciclistas y conductores (Rojas, 2007).

La dinámica del material particulado en la atmósfera, dependen de su interacción con otras partículas, con las que chocan y son absorbidas, o con las que rebotan por el impacto. Es por esto, que la complejidad de la dinámica de las partículas, está relacionado con la diversidad de interacciones y su comportamiento depende de los factores meteorológicos como la temperatura, la precipitación, la dirección del viento, entre otras (Martínez, 2017).

Por ejemplo, cuando se presentan temperaturas bajas se mejora la calidad de la atmósfera, debido a que la emisión de varios contaminantes decrece, especialmente la de los gases. Adicionalmente, la temperatura influye en el movimiento de las partículas por el proceso de termoforesis, conocido como gradiente térmico o inversión térmica, donde las partículas se movilizan de una zona caliente a una fría, aumentando su tiempo de residencia y la probabilidad de ser absorbidas (Martínez, 2017).

Otro factor es la precipitación, en el cual se remueven contaminantes debido a que las gotas de agua recolectan partículas que son transferidas a la zona de contacto en la corteza terrestre. Es así como la concentración de contaminantes atmosféricos se reduce luego de la presencia de la lluvia. También, la precipitación puede incrementar las condiciones de humedad en el aire y de esta manera facilitar la disolución de un sólido soluble en agua (deliquesencia) y el crecimiento higroscópico producido con la captación de vapor de agua, lo que conlleva a

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

reacciones de formación puede ser de partículas secundarias y/o reproducción de microorganismos en el aire (Martínez, 2017).

La dirección y velocidad del viento pueden transportar el material particulado y afectar su duración en la atmósfera. La dirección logra explicar la fuente y el destino final de los contaminantes, localizando los orígenes principales de emisión y las zonas que estarán expuestas. Adicionalmente, las partículas pueden variar su trayectoria y velocidad debido al efecto cañon urbano provocado en avenidas con edificios altos, o al cruzar por medio de obstáculos como barreras de vegetación y cuando los contaminantes disminuyen la velocidad, se incrementa su tiempo de residencia (Martínez, 2017).

De esta manera se identifica el interrogante problema que desarrolló en este artículo ¿De qué manera afecta el incremento de la carga contaminante del material particulado, en la salud pública de la ciudad de Bogotá?

Es importante analizar el incremento del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en la atmósfera de Bogotá debido a que la principal problemática asociada, es la incidencia en la morbilidad y mortalidad de las personas. Esta incidencia es mayor en los ciudadanos pertenecientes a los grupos más sensibles, como los niños menores a 5 años, los adultos mayores de 65 años, mujeres embarazadas y las personas que presentan alguna condición respiratoria (Hernández, 2012).

Se ha comprobado que existe una relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de material particulado y el incremento tanto de la mortalidad como morbilidad diaria a largo plazo. Lo que conlleva a realizar proyecciones relativas al mejoramiento de la salud pública, si se reduce la contaminación del aire por partículas y se controla la carga

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

contaminante, manteniendo niveles bajos para obtener un nivel de afectación mínima (guía de calidad de aire realizada por la OMS) (World Health Organization, 2018).

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, este artículo tiene como objetivo proponer los mejores mecanismos que permitan la disminución del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, que sean de bajo costo y social como ambientalmente aceptados por los ciudadanos de Bogotá. Por medio de la descripción general de las fuentes generadoras del material particulado, identificando las afectaciones en la salud humana por la presencia en la atmósfera de este contaminante y por último estableciendo alternativas que permitan mitigar la presencia del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en Bogotá.

Para seguir con el desarrollo de este artículo se presenta a continuación: los materiales y métodos, los correspondientes resultados y su discusión, finalizando con las respectivas conclusiones.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El tipo de proyecto a realizar es un artículo de revisión, el cual contiene la información más importante del tema, recopilando la bibliografía existente para generar conclusiones respecto a los objetivos planteados.

El desarrollo del estudio se realizó por medio de diferentes etapas: la primera, fue el análisis de la información encontrada en la revisión de referencias bibliográficas relacionadas con el problema planteado, algunas investigaciones existentes que se vinculen con la problemática y el contexto del tema.

La segunda etapa, fue la discusión de la información, justificando el por qué del tema, su importancia para la salud ambiental y humana, para de esta manera hacer un planteamiento de las



## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

mejores alternativas de solución y cómo las personas y el desarrollo de la sociedad influye en el mejoramiento de la calidad de vida y disminución de la carga contaminante provocada por el material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en la ciudad de Bogotá.

Para terminar, la tercera etapa fue la realización de las debidas conclusiones respecto a los objetivos específicos, si las alternativas planteadas cumplen a cabalidad con las metas propuestas, como se pueden complementar y mejorar, para generar el resultado esperado.

Para empezar el contenido de estos materiales y métodos fue imprescindible describir las principales fuentes generadoras del material particulado, por lo que se debió reconocer que los automóviles con motor diésel, buses y camiones, son los productores de la mayor exposición de gran parte de la población a altas concentraciones de este material (90% aproximadamente) y aproximadamente el 10% es generado por motocicletas con motores de dos tiempos (ineficiente combustión, mezcla de gasolina con aceite lubricante e incremento de estos por bajos costos) (Rojas, 2007).

Algunas de las causas en las emisiones producidas por los motores diésel son:

- La cantidad de azufre contenida es relevante en la formación del material particulado. En Bogotá el ACPM o diésel, tiene aproximadamente 1200 ppm, siendo mundialmente recomendado un contenido de azufre menor a 50 ppm (Rojas, 2007).
- Inexistentes tecnologías de control de emisión, al no ser aplicables en Bogotá por la elevada cantidad de azufre en el diésel. El azufre desactiva los catalizadores presentes en los filtros de partículas que tienen como objetivo reducir las emisiones de material particulado.
- En Bogotá los motores de más de 10 años, tienen tecnologías obsoletas que no fueron diseñados para la prevención y control de emisiones de material particulado (Rojas, 2007).

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

- La sobreoferta de transporte público en Bogotá produce emisiones innecesarias, como también los patrones de conducción: paradas frecuentes y aceleraciones agresivas aumentan las emisiones de material particulado (Rojas, 2007).
- El aumento de la exposición de pasajeros y conductores a contaminantes, se presenta por la inadecuada construcción de la cabina y por el mal mantenimiento de los motores y tubos de escape, generándose fugas de emisiones antes de la expulsión definitiva que llegan directamente a los pasajeros y conductores (Rojas, 2007).
- La construcción de vías estrechas para un alto tráfico vehicular, junto con problemas de diseño de espacio público sin las condiciones mínimas requeridas para una movilidad apropiada (andenes amplios, mobiliario urbano, paraderos de buses) y las malas condiciones de las vías (huecos y bastante polvo) , por el poco o ineficiente mantenimiento, incrementa la concentración de material particulado fino y grueso por la resuspensión de partículas de las vías, causando bloqueo de la vegetación y sus mecanismo de respiración, taponando alcantarillados y aumentando los sólidos suspendidos en fuentes de agua aledañas (Rojas, 2007).
- En el país no hay mecanismos eficaces que motiven la renovación vehicular. Los impuestos son mayores para los vehículos nuevos que para los antiguos, siendo estos últimos los que producen más impacto sobre la salud, el ambiente y las vías. Además, no existen controles eficaces en las revisiones de gases y técnico-mecánica que impidan los ajustes ilegales por parte de los conductores, para pasar las pruebas y no realizar los mantenimientos necesarios (Rojas, 2007).

Ya teniendo estos conocimientos, cabe destacar que a pesar de los mecanismos que tiene el cuerpo humano para la eliminación de partículas, dependiendo del sitio de depositación, el

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

tamaño y la composición, a frecuentes y altas cargas contaminantes de material particulado el sistema inmunológico pierde capacidad de eliminación de partículas o disminuye la velocidad de remoción, lo que afecta gravemente el organismo. Su afectación dependerá de la composición de la partícula, el sitio de alojamiento y la sensibilidad de la persona al contaminante (Martínez, 2017). Esto comprueba que no es suficiente la barrera del organismo frente a algunas sustancias tóxicas presentes en la atmósfera como es el caso del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, y por lo tanto, se presentan algunas de las alternativas encontradas en la revisión bibliográfica, que se basan en áreas verdes urbanas, y se ajustan a las condiciones de una ciudad como Bogotá:

### 1. Captura de material particulado por vegetación urbana:

Desde la Revolución Industrial, se inició en Europa con la valoración de la vegetación urbana en su función de la disminución de contaminantes, considerándose como una estrategia de biorremediación en ciudades que presentan contaminación atmosférica (Tiway, 2010).

De esta manera, se presenta la oportunidad de proponer un incremento de la superficie de áreas verdes, mejorar el estado de las que ya existen, teniendo en cuenta criterios de mitigación de material particulado que posicionan a la vegetación como una alternativa de costo bajo, con una buena aceptación de la sociedad, en relación con otros mecanismos restrictivos y/o estrategias tecnológicas que conllevan altos precios (Martínez, 2017).

Es así, que al comprobar la efectividad de las áreas verdes urbanas en la prestación de servicios ecosistémicos a los ciudadanos, se afirma que uno de los servicios corresponde a la reducción de contaminantes atmosféricos a través de captura de gases y partículas que interactúan con la vegetación, trayendo a su vez una disminución de la exposición de la población a estos contaminantes, por medio de la deposición atmosférica (transporte de un punto del aire a la superficie de la planta) y retención, en la que la vegetación hace de superficie de

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

contacto (Martínez, 2017). De esta manera, características propias de los contaminantes como la carga, la velocidad y dirección del flujo pueden ser cambiados por la vegetación, ya que crean corrientes turbulentas que ayudan con la captura de partículas en tallos, troncos y corteza de las plantas y con mayor extensión, las hojas. Adicionalmente, pueden rebotar o resuspenderse por acción del viento y precipitación (Barima, 2014).

El tipo de área vegetativa que es más efectivo para capturar partículas es el estrato arbóreo y arbustivo, en comparación con pastos, techos y paredes verdes, ya que posee una mayor rugosidad superficial, dependiendo de la estructura y tamaño de las copas se facilita la formación de movimientos turbulentos del aire (Barima, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, esta alternativa está enfocada en la capacidad que tienen las hojas de los árboles de capturar partículas, cuyas características de: forma, tamaño, densidad, porosidad y presencia de estructuras adherentes determinarán su recolección de contaminantes.

Como estructuras, las hojas son muy importantes para el desarrollo de las plantas, ya que por medio de ellas se produce la fotosíntesis, la respiración, la regulación de la temperatura y contenido de agua, la transformación de nutrientes, la defensa ante competidores y la captura de contaminantes (Bussotti, 2015).

La deposición de las partículas gruesas es más eficiente cuando hay altas velocidades del viento, que posea un índice de área foliar grande para que sea posible de penetrar. Además del área foliar, otras características a tener en cuenta en la deposición de material particulado son: la rugosidad, la presencia de pilosidades, la adhesividad y grosor de la cutícula y la presencia de follaje durante el año (Martínez, 2017).

### Área foliar:

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

El área foliar es la superficie ocupada por las hojas de una planta, es el parámetro por medio del cual se estima la capacidad de radiación solar y la transpiración, que ayudan con el crecimiento de la planta. Se calcula que las especies con elevado Índice de Área Foliar poseen condiciones más favorables para la deposición de material particulado, como en los árboles y arbustos de mayor tamaño (Martínez, 2017).

### El tamaño de las hojas

Favorece la retención de partículas, debido a que entre mayor sea la dimensión de las hojas mayor es la extensión de la superficie de contacto. Existen algunas excepciones de especies con hojas grandes pero con poca densidad, o especies con hojas pequeñas pero abundantes, donde puede haber mayor deposición a pesar de la complejidad de su estructura (Martínez, 2017).

### La rugosidad, humedad y reactividad en las hojas

Las plantas tienen una mayor rugosidad superficial que las paredes, techos y vías de comunicación de las ciudades, por lo que la posibilidad de la deposición de las partículas se incrementa. Además, las partículas normalmente tienen mayor facilidad para impactar superficies húmedas o eléctricamente cargadas (Martínez, 2017).

### Pilosidad de las hojas

La presencia de estas en las hojas es una característica importante, debido a que a mayor tamaño y densidad se posibilita la captura y se evita la resuspensión de material particulado (Martínez, 2017).

### Cutícula cerosa

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

Las plantas que poseen hojas con cutículas gruesas o pegajosas favorecen la deposición y captura de partículas, siendo encapsuladas y formando parte del tejido interno de la hoja (Martínez, 2017).

### Presencia de follaje

Durante el año, la forma de las hojas y la estructura que adoptan las diferentes especies de árboles está relacionada con algunas condiciones respecto a la captura de partículas. Se reconoce que las especies de hoja ancha son más resistentes a los contaminantes en comparación con las coníferas y renuevan constantemente sus hojas (Martínez, 2017).

Por otro lado, las especies de coníferas son mejores en la deposición de partículas y estos árboles aseguran una superficie de contacto permanente en la que las partículas pueden depositarse durante todo el año. Adicionalmente, las coníferas mejoran la impactación y retención de material particulado. Sin embargo, pueden ser menos tolerantes y no adecuadas en avenidas con alto tránsito vehicular debido a que su daño fisiológico puede ser severo. Es por esto, que se recomienda usar coníferas de una manera que no queden directamente expuestas a la fuente de emisión (Martínez, 2017).

### 2. Sistema de techos verdes

Se entiende por techo verde cualquier membrana impermeable construida sobre un techo, que contiene una mezcla de sustrato liviano y especies vegetales, garantizando alta tasa de infiltración y resistencia para sobrevivir condiciones de sequía e inundación (Vernaza, 2013).

Los tipos de techos verdes más importantes son los intensivos y extensivos. El tipo intensivo utilizan plantas que llegan a mayores tamaños a comparación a los demás y necesitan profundidades de sustrato entre los 300 y 500 mm. Requiere un sustrato más grueso, resiste mayores pesos, contiene diversidad de especies vegetales grandes como árboles y arbustos, es

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

diseñado para la recreación humana, no necesita altas pendientes y es más costoso que el techo verde extensivo, debido a que requiere una irrigación periódica y mantenimiento frecuente . Los extensivos albergan plantas de menor tamaño, y las profundidades de sustrato varían entre 50 y 100 mm, requieren un sustrato delgado, es liviano, las especies vegetales son menores, hay menor variedad de plantas, alcanza pendientes de 30°, es menos costoso que un techo verde intensivo, debido a que requiere poca irrigación y poco mantenimiento (Hui, 2010)

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al retomar la pregunta problema, se debe profundizar sobre el tema, debido a que gracias a estudios clínicos y/o medioambientales se conoce que la enfermedad respiratoria ha sido una de las causas mas frecuentes de mortalidad infantil en la ciudad de Bogotá, los niños que viven o que el jardín infantil se encuentra en zonas donde se presenta alta contaminación del aire, están más expuestos a necesitar atención en salud por síntomas respiratorios, asma, bronquitis, ataques al corazón, deterioro en el desarrollo de la capacidad pulmonar de los niños, enfermedades pulmonares y cardiovasculares crónicas (Hernández, 2012).

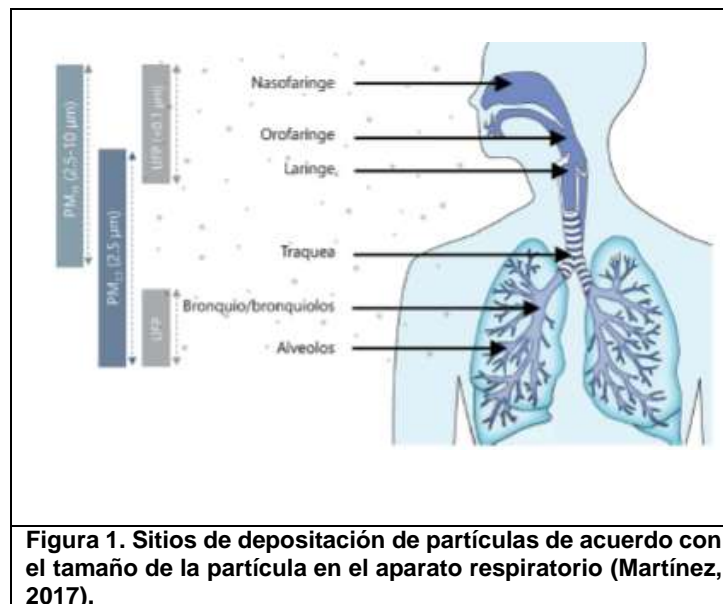
Cabe mencionar, que en la ciudad de Bogotá se exceden los límites establecidos por los estándares de calidad de aire, en cuanto a material particulado (García, 2018) y el comportamiento de las concentraciones no se da de manera homogénea para todas las zonas de la capital. Por ejemplo, en las estaciones de monitoreo del suroccidente de la ciudad, localidad de Kennedy y estación Carvajal-Sevillana, se presentan concentraciones mayores de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , lo que representa mayores tasas de mortalidad por infección respiratoria aguda- IRA, respecto a los pocos casos de muerte que se identifican en el nororiente de la ciudad, localidad de Usaquen. Esto evidencia que los impactos de la contaminación del aire, tiene una diferenciación socioeconómica y que en una de las localidades donde hay alta densidad poblacional

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

perteneciente a estratos bajos, se establecen mayores fuentes de contaminación, como emisiones industriales, transporte público y vehículos de carga (García, 2018).

En cuanto a la capacidad que tiene el material particulado para introducirse en el organismo se describen las diferentes vías por medios de las cuales ingresa:

La principal vía es la respiración. A pesar que el cuerpo humano usa para la remoción de las partículas los vellos nasales, cilios, revestimiento húmedos y secreciones, algunas de ellas se depositan y permanecen en el interior del cuerpo, dependiendo del tamaño pueden traspasar los bronquios y llegar a los bronquiolos y alveolos pulmonares como se evidencia en Figura 1.



Cabe anotar que en las partículas más pequeñas se ha encontrado una mayor peligrosidad cardiopulmonar que en la fracción gruesa, específicamente para exposiciones a largo plazo; posiblemente porque no se encuentran cilios, ni la cantidad de secreciones necesarias para interrumpir su movilización y su eliminación, siendo muy difícil el impacto o difusión de partículas por su baja velocidad terminal (Martínez, 2017).



## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

Los mecanismos que explican los efectos de las partículas que se alojan en el organismo son los siguientes tres: 1) Desequilibrio del sistema nervioso autónomo y disritmias ocasionadas por la activación de receptores pulmonares; 2) inducción de inflamación pulmonar y sistémica; 3) acceso de partículas o sus componentes químicos a la circulación sistémica (Martínez, 2017)

Adicionalmente, la tos, bronquitis crónica, dolor de pecho, resfriado común, irritación en el tracto respiratorio, la tos seca nocturna, el asma y cáncer de pulmón como trastornos respiratorios se relacionan con la presencia de material particulado (Martínez, 2017). Se ha estimado que existen efectos aterotrombóticos causantes de síndromes coronarios y cardiopatía isquémica, ya que varios componentes del material particulado desencadenan y/o intensifican reacciones de radicales libres en células y tejidos (Martínez, 2017). Como también debido a la exposición a este material hay un incremento de riesgo de calcificación aórtica, engrosamiento íntimo-medio de la arteria carótida, considerándose a nivel mundial la exposición al material particulado, un fuerte factor de riesgo cardiovascular (Martínez, 2017).

Otra de las vías de ingreso de estas partículas atmosféricas al organismos, es por ingestión, al alojarse en los alimentos consumidos en el exterior, o por absorción de partículas en las manos y el contacto con la boca. El ingreso de las partículas por ingestión sucede comúnmente en la fracción gruesa y el grupo poblacional más susceptible son los niños, debido a desarrollar varias de sus actividades en el exterior (Martínez, 2017).

Por otro lado, también hay entrada de material particulado por vía ocular, lo que puede ocasionar irritación y conjuntivitis (Martínez, 2017).

Si se considera el área verde como alternativa de solución al problema de salud pública ocasionado por las altas concentraciones de material particulado en la atmósfera, se debe evaluar que el efecto de la vegetación en la calidad de aire en las ciudades tiene que ver con el diseño de

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

la vegetación y el nivel de contaminación de la atmósfera en determinada área. Se mencionan a continuación algunas consideraciones de diseño en base a la calidad de aire (Jannhall, 2015):

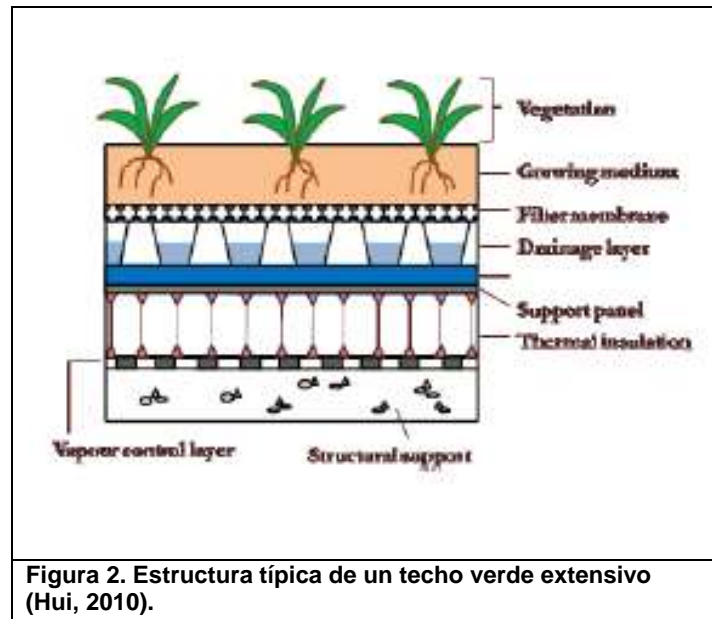
1. La dilución de las emisiones de material particulado con aire limpio es fundamental; por lo tanto, la vegetación debe ser preferiblemente cerca a las superficies (Jannhall, 2015).

2. Si hay proximidad a la fuente de contaminación hay mayores concentraciones de contaminantes en el aire como también se presenta mayor deposición, es por esto que la vegetación debe estar cerca de la fuente (Jannhall, 2015).

3. Cuando el aire pasa por encima y no a través de la vegetación, este no se filtra; por lo que las barreras vegetales deben ser lo suficientemente altas y porosas para que pase el aire. Sin embargo, debe ser lo suficientemente sólidas para permitir que el aire pase cerca de la superficie (Jannhall, 2015).

Por ejemplo, en el estudio que se realizó en Bogotá para la instalación de techos verdes sobre algunas estaciones de TransMilenio, se implementaron los techos verdes tipo extensivo; principalmente porque el espacio era limitado, se debía tener en cuenta el menor peso posible para no afectar la estructura y deberían ser lo más autosostenible y económico (Vernaza, 2013). Además al usar especies vegetales tipo Sedum, no necesitan mucho cuidado, ni mantenimiento. Se evidencia que la estructura típica de un techo verde extensivo consta de una capa de impermeabilización en el fondo, capa de drenaje, capa de filtro, un sustrato y por último una capa vegetal como se ve en la Figura 2 (Contreras, 2019):

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO



Los techos verdes son una alternativa viable y adaptable a las condiciones de la ciudad que según los estudios ayudan a reducir la temperatura de los tejados, debido a que minimizan la transferencia de calor y mejoran la reflectividad solar. Esto ayuda a disminuir el efecto de inversión térmica, produciendo mayor espacio de volumen de aire para que se logre la dispersión de los contaminantes (Benavides, 2019), provocando una mejor calidad de vida, debido a la disminución de las enfermedades cardiorespiratorias que se producen por la exposición constante y respiración de material particulado (Vasquez, 2016).

Hay que aclarar que las áreas verdes se caracterizan por ser en espacios abiertos, públicos, no urbanizados o con poca infraestructura, compuestos por vegetación natural, enfocados a la recreación, esparcimiento y valor estético. Adicionalmente, prestan una función importante en la conservación y mejoramiento del ambiente urbano, al mismo tiempo que pueden representar un atractivo turístico (EPA, 2016). Es así que para seleccionar las especies más favorables para realizar una forestación adecuada en Bogotá se tiene que tener en cuenta:1)

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

que sean árboles urbanos, especies ya plantadas; 2) que se encuentren ampliamente distribuidas en la ciudad de Bogotá; 3) que sean especies cuyas hojas y estructura de los árboles, favorezcan la captura de material particulado. Respecto a diversos artículos y en relación a las especies más comunes en Bogotá se recomiendan las siguientes especies: *Fraxinus uhdei* (urapán), *Ligustrum lucidum* (trueno), *Cupressus sempervirens* (ciprés mediterráneo) (Vernaza, 2013).

La familia Cupressaceae presenta una acumulación que puede relacionarse con su superficie de contacto, aparte de otorgar amplia porosidad y rugosidad, que puede estar asociado a la captura del material particulado. Del mismo modo, en el estudio hecho por (Alcalá, 2008) se halló que *Cupressus* capturó una mayor cantidad de partículas respecto a *Fraxinus sp.*

*Fraxinus sp* tiene hojas lanceoladas y ligeramente rugosas, como también algunas pilosidades, estructuras que pueden favorecer la captura de partículas (Vernaza, 2013).

En la especie *Ligustrum lucidum*, la presencia de una cutícula cerosa es la responsable de facilitar la remoción de partículas por acción del viento y la precipitación (Vernaza, 2013).

### CONCLUSIONES

A pesar de la poca y desactualizada información acerca de proyectos técnicos que implementen techos verdes o vegetación urbana para la disminución del material particulado y mejoramiento de calidad de aire en la ciudad de Bogotá, en relación con los artículos disponibles para otros países como México, países europeos y asiáticos, se logró completar a cabalidad cada uno de los objetivos planteados y para cada uno se tienen algunas conclusiones:

- Se ha realizado un acercamiento a mecanismos que permitan la disminución del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Bogotá, teniendo como principal alternativa la vegetación urbana, debido a ser de bajo costo, con alta aceptación de la sociedad y que permite agregar valor estético a la zona donde se implemente. Además de traer beneficios públicos como la mitigación

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

del efecto de isla de calor, la retención de escorrentía urbana, filtración de agua lluvia y lo más relevante para este artículo, la filtración de contaminantes atmosféricos. Por último, recordando algunos de los beneficios privados se obtiene un incremento de la vida útil de las cubiertas, reducción de la temperatura de las cubiertas, un mejor uso del espacio libre, reducción de los niveles de ruido, como también la reducción de costos energéticos en los edificios.

- Al describir las fuentes generadoras del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Bogotá, se tiene un panorama real de las fuentes humanas y naturales por las que se generan dichos contaminantes. Determinado según a la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) que los principales emisores de material particulado es la industria y las fuentes móviles. Las fuentes móviles como automóviles, buses y camiones de carga tienen una mayor afectación en la población debido a que la emisión se presenta cerca de peatones, ciclistas y conductores (Rojas, 2007).

- En este artículo se identificaron las afectaciones en la salud humana por la presencia en el aire del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Bogotá, especificando el tipo de vías en las que puede ingresar estos contaminantes, el efecto que tiene en el organismo dependiendo del tamaño de la partícula y los mecanismos que se tienen en el cuerpo para su eliminación. Concluyendo que son insuficientes para combatir dichos contaminantes.

- Para establecer alternativas que permitan mitigar la presencia del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Bogotá, este artículo se basó en la instalación de vegetación urbana. Luego de realizar una revisión bibliográfica extensa se confirma que las áreas verdes, incluidas las paredes verdes tienen un alto impacto en la disminución de las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>. Según (Srbinovska, 2020) se muestra que el área verde

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

disminuye en promedio un 25% de  $PM_{2.5}$  y aproximadamente 37% de la concentración de  $PM_{10}$  en comparación con las áreas aledañas sin área verde.

- Los árboles tienen un efecto dispersivo, que disminuye la concentración de  $PM_{2.5}$  en un 9% y poniendo como ejemplo las fachadas verdes o paredes vivas se encuentra una reducción de las concentraciones de  $PM_{10}$  hasta de 23%, esto para zonas urbanas, donde se dificulta la ventilación por la estructura de edificios a ambos lados de la calle (cañones urbanos) (Lipp, 2014).

- Para terminar, revisando la literatura respecto a la remoción de contaminantes atmosféricos en los techos verdes extensivos comparada con los techos verdes intensivos, se obtiene que es mayor para los intensivos, aunque específicamente los techos verdes extensivos pueden reducir los niveles de material particulado. De esta manera se debe velar por el desarrollo de proyectos técnicos que permitan incrementar la información que se tiene en contextos colombianos, para poder diseñar e implementar techos verdes que brinde soluciones óptimas a las necesidades que existen en ciudades como Bogotá, respecto a las características meteorológicas específicas y el comportamiento de la zona donde se quiera implementar.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá, J. S. (2008). Retención de polvo atmosférico en especies arbóreas indicadoras en la planeación urbana sustentable: ciudad de Chihuahua, México. *Multequina*, 17-28. Fuente: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73292008000100001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292008000100001).
- Barima, Y. A. (2014). Assesing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment. *Science of the total environment*, 975-982. Fuente: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.082>
- Benavides, M. M. (2019). Análisis de la influencia de los techos verdes en la variación de la concentración del material particulado en condiciones diurnas en Bogotá. *Universidad del Bosque*. Fuente:

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2125/Benavides\\_Nieves\\_Mar%  
es\\_Mar%c3%ada\\_Fernanda\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2125/Benavides_Nieves_Mar%c3%ada_Fernanda_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Bussotti, F. &. (2015). Evaluation of leaf features in forest trees: Methods, techniques, obtainable information and limits. *Ecological Indicators*, 219-230. Fonte: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.010>.
- Caballero, J. V. (2018). Estudio del material particulado de tamaño menos a 10 micras (PM10) en el aire ambiente de la zona aledaña a la Universidad libre - sede Candelaria. Fonte: <https://bit.ly/2ZSVp8A>
- CEPAL,N. (2020). Efectos de las cuarentenas y restricciones de actividad relacionadas con el COVID-19 sobre la caldiad del aire en las ciudades de América Latina. Fonte: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/S2000476\\_es.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45839/S2000476_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Contreras, O. V. (2019). Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia. *Tecnología y ciencias del agua*, 282-318. Fonte: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-11>.
- EPA. (2016). *What is Open Space/Green Space? | Urban Environmental Program in New England*. Fonte: <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/openspace.html>
- Franco, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. (R. EAN, Ed.) (72), 193-204. Fonte: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602012000100013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100013)
- García, D. (2018). Calidad del aire y políticas públicas en Bogotá: una historia de injusticia ambiental. Fonte: [https://co.boell.org/sites/default/files/ideas\\_verdes\\_14\\_web.pdf](https://co.boell.org/sites/default/files/ideas_verdes_14_web.pdf)
- Hernández, L. A. (2012). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidade de Bogotá. Acceso em 2020, disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120491215300112?via%3Dihub>
- Hui, C. (2010). *Development of technical guidelens for green roof systems in Hong Kong*. Fonte: <https://hub.hku.hk/bitstream/10722/140385/1/Content.pdf?accept=1>
- Jannah, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution-Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 130-137. Fonte: <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>.
- Lipp, D. (2014). EL cañón urbano. Su incidencia en la contaminación del aire. 75° *Semana de Geografía*, (pp. 123-128). Salta. Fonte: [http://www.gaea.org.ar/Actas2014\\_Lipp.pdf](http://www.gaea.org.ar/Actas2014_Lipp.pdf)

## AFECTACIÓN DE LA SALUD PÚBLICA POR MATERIAL PARTICULADO

- Martínez, A. (2017). *Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México*. Fonte: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/66256>
- Pereira, A. P. (2017). Calidad del aire y enfermedades respiratorias: Diagnóstico de estrategias públicas desarrolladas en el distrito. Fonte: <http://hdl.handle.net/10654/16521>
- Rojas, N. (2007). *Aire y problemas ambientales en Bogotá. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia*. Fonte: <https://bit.ly/33LNICI>
- Srbinovska, M. A. (2020). The effect of small green walls on reductio of particulate matter concentration in open areas. *Cleaner Production*. Fonte: <https://bit.ly/2IWMUUR>
- Tiwary, A. &. (2010). *Air Pollution: Measurement, modelling and mitigation*. Boca Raton: CRC Press.
- Vasquez, W. J. (2016). Influence of Green Roofs on Early Morning Mixing Layer Depths in Mexico City. *Journal of Solar Energy Engineering. Vol 138*. Fonte: <https://doi.org/10.1115/1.4034807>
- Vernaza, A. (2013). Evaluación de la implementación de techos verdes en algunas estaciones de Transmilenio de la ciudad de Bogotá. *Universidad de los Andes*. Fonte: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/20002/u671828.pdf?sequence=1>
- World Health Organization. (2018). *Ambient (outdoor) air pollution*. Fonte: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)