

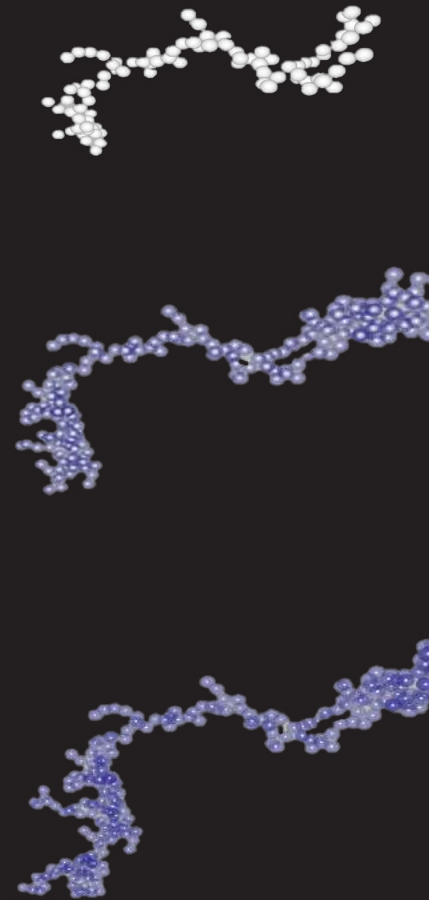
## El hollín en partículas finas en el aire aumenta durante episodios de calima del valle de Caracas

Por: Vanessa Engelhart<sup>1</sup>, Loreto Donoso<sup>1</sup> y Tibisay Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Investigadoras del Centro de Ciencias Atmosféricas y Biogeoquímica del IVIC

<sup>2</sup> Investigadora del Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS), Leipzig, Alemania

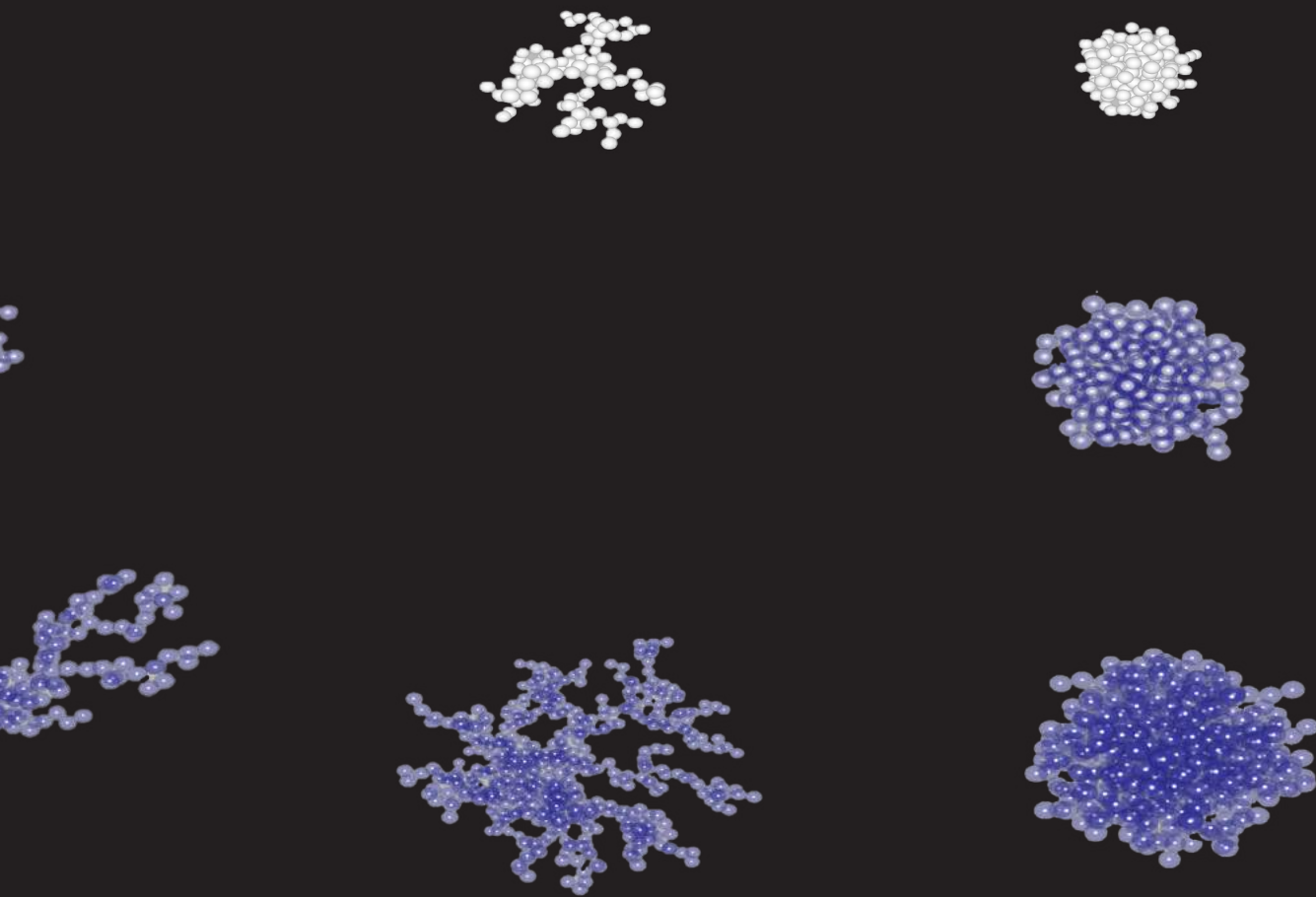
Imágenes referenciales: Fractales de carbono negro modelados por Baseerat Roomsoo



Un marcado incremento de ~30 % de hollín durante los episodios de calima, en la época seca, en el valle de Caracas, ocasiona reducción de la calidad del aire, incremento del impacto en la salud de los habitantes de Caracas, y afecta el clima a escala regional. Los resultados forman parte de una investigación del Centro de Ciencias Atmosféricas y Biogeoquímica del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), en conjunto con el Instituto de Investigación de la Tropósfera (Tropos) de Alemania.

En la atmósfera, las partículas atmosféricas finas, con diámetro menor a 2,5 micrones (PM2.5), provienen tanto de fuentes naturales como antrópicas. Estas pueden entrar al tracto respiratorio, a nivel alveolar, y causar efectos importantes en la salud humana, como asma y bronquitis. El hollín es emitido a la atmósfera por procesos de quema de combustibles fósiles, incendios forestales y otros tipos de quema. Además de ser un contaminante climático, por su tamaño y

composición, puede llegar al tracto respiratorio, transportando hidrocarburos aromáticos policíclicos que son altamente tóxicos para el ser humano; tal y como lo hace el humo del cigarrillo en fumadores. En las zonas urbanas, debido al importante tránsito automotor, existen altas concentraciones de PM2.5 con un gran contenido de hollín. El acentuado incremento de hollín y PM2.5 encontrado en Caracas, durante la época seca (diciembre - abril) y particularmente durante los eventos de calima, obedece a tres factores: una pronunciada reducción de la altura de la capa de mezcla atmosférica, en el norte de América del Sur, debido al Sistema de Alta Presión Subtropical del Atlántico Norte, que reduce el movimiento de las corrientes de aire ascendentes y, por lo tanto, la dispersión vertical (Figura 1); una alta incidencia de incendios forestales (por ejemplo en el Parque Nacional Waraira Repano) relacionada con el cambio de uso de la tierra y las actividades agrícolas (Figura 2); y las intrusiones de polvo mineral del desier-



to del Sahara. Por el contrario, en condiciones climáticas de la época de lluvia y en periodos de no-calima durante la época seca, el valle de Caracas, en general, presenta una meteorología muy particular que impide un largo tiempo de residencia de las masas de aire en la ciudad. Cada mañana, en su atmósfera, la capa de mezcla planetaria se rompe debido a la radiación solar que calienta la superficie, y esta, a su vez, calienta las capas bajas de la atmósfera; en consecuencia, ocurre una expansión de las masas de aire y progresivamente se calienta el aire de arriba por transferencia de calor por convección. Este proceso diario eleva las masas de aire y diluye la concentración del material particulado, y otros gases traza, promoviendo una capa de mezcla planetaria más limpia durante el día, aun cuando existan altas emisiones de partículas antrópicas en la superficie (Figura 1).

Las mediciones de hollín y material particulado fino realizadas durante esta investigación

representan las primeras hechas de manera continua, durante un año, en la atmósfera del valle de Caracas, en la zona más septentrional de Sudamérica; las cuales, permitieron evaluar la variación temporal y las fuentes del hollín y material particulado fino. Se usaron herramientas y datos satelitales para evaluar incendios y trayectorias de masas de aire, evidenciando que los incendios, durante los eventos de calima, son la principal fuente de material particulado fino y hollín, tanto en Caracas como en las montañas mirandinas de Altos de Pipe, contribuyendo a la contaminación local y regional. En consecuencia, se han encontrado grandes concentraciones de aerosoles, en una estación remota, de gran altitud (4 765 m s. n. m.), en la tropósfera libre inferior en región de los Andes venezolanos.

Con relación a la variabilidad temporal se encontró que el ciclo diurno del hollín es más acentuado durante los días laborables en comparación con los fines de semana; esto debido a las ma

yores emisiones derivadas de la quema de combustibles procedentes del tráfico automotor durante los días laborables. En general, las concentraciones de hollín incrementan a primera hora de la mañana, alcanzando su máximo a las 8 de la mañana, producto del tránsito automotor que comienza a las 5 de la madrugada (especialmente el transporte público) y a la menor altura de la capa de mezcla. Más tarde, a la 1 de la tarde, la concentración mínima de hollín se debe a una rápida dispersión de los contaminantes y al efecto de dilución, cuando se alcanza la máxima altura de la capa de mezcla. Este transporte de partículas finas fue evidenciado en el bosque de Altos de Pipe, situado en las montañas el suroeste del valle de Caracas, a 1750 m s. n. m.), donde las concentraciones de PM2.5 incrementan en horas de la tarde (Figura 2). En Caracas, la alta concentración de hollín a las 5 de la tarde, con un máximo a aproximadamente las 8 de la noche, puede explicarse por la inversión de temperatura atmosférica, en el valle de Caracas, durante la noche, que reduce la altura de la capa de mezcla.

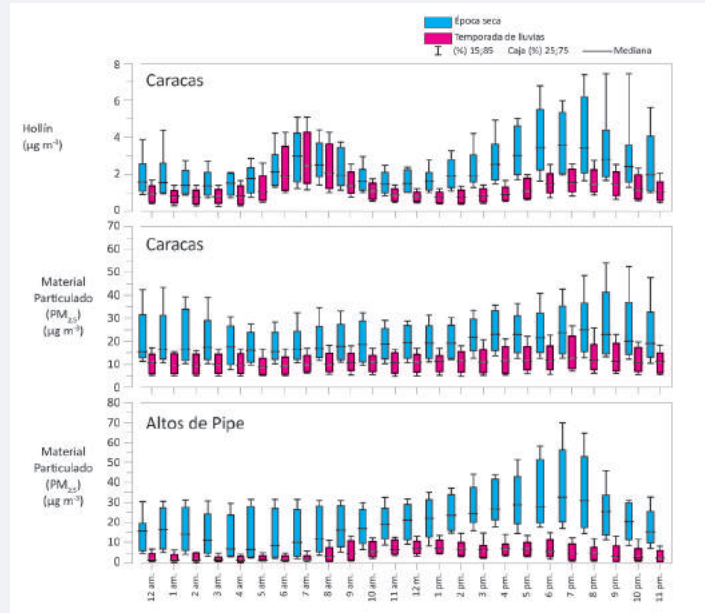


Figura 2. Promedios horarios diarios de hollín y material particulado fino, en  $\mu\text{g m}^{-3}$ , durante la época seca y la época de lluvia (los promedios horarios incluyen tanto días laborables como fines de semana). El borde del recuadro representa los percentiles 25 y 75, los bigotes grises representan los percentiles 15 y 85, y la línea representa la mediana. Nótese, durante la época seca, las mayores concentraciones de PM2.5 y hollín para Caracas y de PM2.5 para Altos de Pipe.

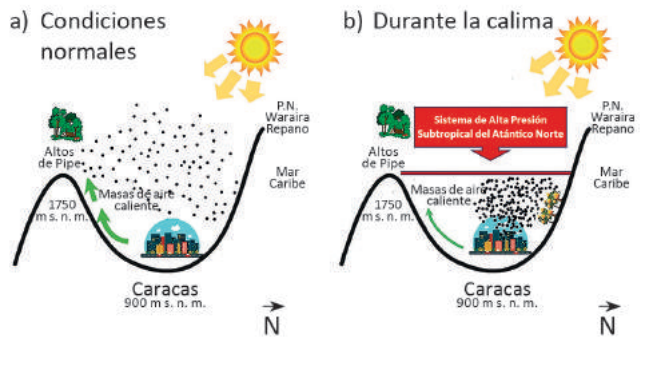


Figura 1. Diagrama de la meteorología de la ciudad de Caracas: a) Condiciones normales, durante la mañana se rompe la baja capa de mezcla por efecto del calentamiento de la superficie por la radiación solar; lo cual, hace que las masas de aire caliente asciendan y expandan la capa de mezcla hasta más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar durante el día. b) Durante la calima el Sistema de Alta Presión del Atlántico Norte impide la expansión de la capa de mezcla diaria, permaneciendo estable por varios días, lo cual incrementa la concentración de PM2.5 y hollín en la ciudad.

Los promedios anuales de PM2.5, en ambos sitios de medición, están por encima del valor límite anual de la Organización Mundial de la Salud ( $5 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Además, el valor límite ( $15 \mu\text{g m}^{-3}$ ) para el promedio de 24 h de PM2.5, es superado durante los eventos de quema de biomasa (época seca), siendo para Caracas y el bosque de Altos de Pipe  $27 \pm 18 \mu\text{g m}^{-3}$  y  $28 \pm 21 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. Dados estos resultados, se hace urgente establecer una regulación de la calidad del aire para PM2.5 en Venezuela. Esto se vuelve crucial puesto que, a escala mundial, de las enfermedades y lesiones más comunes, las infecciones de las vías respiratorias superiores tienen los mayores impactos relacionados con la prevalencia, la incidencia, los años de vida con discapacidades y los costos socioeconómicos.

Estos descubrimientos fueron posibles gracias a la realización de mediciones continuas de PM2.5 y hollín en Caracas y PM2.5 en Altos el Pipe. A fin de establecer sistemas de alerta temprana para reducir los impactos en la salud de la población, se recomienda instalar estaciones de monitoreo continuo en la ciudad capital, que incluyan mediciones de contaminantes

adicionales, como ozono, dióxido de azufre y gases de nitrógeno, entre otras variables atmosféricas. Esto permitiría investigar los posibles efectos de las oscilaciones naturales y pronosticar cambios en la calidad del aire local y regional. Finalmente, dado que los incendios repercuten en el clima y en la calidad del aire y, por tanto, en la salud de los habitantes de la región, es imprescindible aplicar estrategias de mitigación para reducir el número de incendios, los cuales han aumentado en los últimos años.

Para más información remitirse a la publicación científica:

<https://online.ucpress.edu/elementa/article/10/1/00024/192148/Black-carbon-and-particulate-matter-mass>

