

LA CIENCIA EN LA CALLE: YO PUEDO MEDIR LO QUE RESPIRO

Xóchitl Cruz Núñez, Juan José Romero Cabrera, Roberto Zúñiga Mora
marco.morar@correo.buap.mx



ANTECEDENTES

El cuadro de la zona del centro histórico de la Ciudad de Puebla, se caracteriza por una alta demanda de servicios y comercios que generan una actividad importante en el aforo de personas, vehículos de transporte público y privado. Así mismo, durante los fines de semana esta característica se torna más hacia el tipo de actividades recreativas y de turismo. Esto conlleva a que, el ciudadano realice de manera cotidiana recorridos a pie que podrían significar estar respirando partículas finas y gruesas suspendidas en el aire. Ciertamente, los adultos son los principales usuarios de las calles y avenidas, pero al mismo tiempo, sobre todo en la mañana y en las horas de salida de las escuelas, también las calles se ven llenas de infantes acompañados de sus padres. En este contexto, decidimos emplear los dispositivos portátiles para medir las concentraciones de partículas (EPA, 2024) y estimar la dosis inhalada de partículas finas y gruesas durante recorridos a pie por calles y avenidas del centro histórico, lo cual denominamos experimento "A". La dosis inhalada (DI) de partículas de aerosoles (en microgramos) se calcula multiplicando la concentración de partículas, que mide el dispositivo móvil, por la tasa de ventilación (VE) y el tiempo de duración de la medición (Ramos et al., 2015). La tasa de ventilación se refiere a la cantidad de litros de aire que una persona, adulto inhala al respirar. En este estudio empleamos el valor de la tasa de inhalación diurna de un adulto como $0.01455 \text{ m}^3 / \text{min}$ (Ariunsaikhan et al., 2020).

También, es de interés medir las concentraciones de partículas a las que, estarían expuestos adultos y niños, cuando se aproximan a una calle con tráfico de vehículos particulares y de transporte público; donde los peatones (incluidos niños) frecuentemente se detienen justo al borde de la banqueta a esperar el cambio de luz en el semáforo o esperan para tomar el transporte público, en este caso microbuses de distintas rutas. Este otro experimento lo denominaremos experimento "B". Los niños además de ser la población más vulnerable a la exposición por partículas, podrían estar expuestos a concentraciones de partículas diferentes a los adultos, debido a su mayor cercanía con el suelo. Es interesante conocer si los niños por estar más cerca del suelo están expuestos a mayores concentraciones de material particulado.



Experimento “A”. Dosis inhalada de partículas durante recorridos a pie

En el experimento “A” se realizaron recorridos a pie de aproximadamente 40 minutos cada 2 horas, desde las 8:00 am hasta las 6:00 pm (GMT-5) en una ruta entre calles del Zócalo de la Ciudad de Puebla, como se muestra en la Figura 1. La ruta inicia en la esquina del Zócalo de Puebla, entre las calles 2 Sur y 3 Pte., y termina en la Av. Reforma esquina con la calle 5 Nte. Los dispositivos se colocaron a una altura de 1.60 m que es la estatura promedio de un adulto, y cada minuto durante el recorrido a pie se registraron: la hora, las concentraciones de partículas de aerosoles, las finas (PM_{2.5}) y gruesas (PM₁₀) empleando un sensor de partículas (SDS011) y la ubicación (latitud, longitud). Los dispositivos móviles fueron equipados con un sensor (GPS) que permite detectar la posición geográfica, durante los recorridos a pie en calles y avenidas de la ciudad de Puebla. Los dispositivos se alimentan con una batería recargable que tiene autonomía hasta por 8 horas continuas, tiempo suficiente para realizar los recorridos a pie. Para almacenar los datos los dispositivos cuentan con una memoria MicroSD.

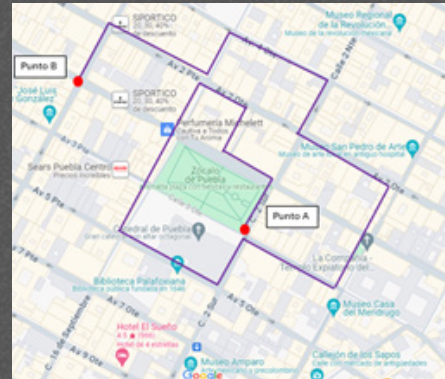


Figura 1. A la izquierda se muestra un dispositivo portátil y con autonomía (8h) que mide las concentraciones de partículas finas (PM_{2.5}) y gruesas (PM₁₀) y la localización del peatón durante los recorridos (derecha) a pie en calles y avenidas del Centro Histórico de la Ciudad de Puebla.

Los resultados, mostraron que el horario de las 18:00 pm presentó los valores más altos de concentraciones de PM, con 15.78 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de partículas gruesas (PM₁₀) y 10.47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de partículas finas (PM_{2.5}). En este horario la dosis estimada de PM₁₀ fue de 9.16 μg y 6.09 μg de PM_{2.5}, considerando un periodo de tiempo de 40 minutos. En cambio, en el horario de las 12:00 pm la dosis es menor, y por lo tanto más recomendable para transitar como peatón, ya que, tiene un promedio de concentración de 5.42 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de PM₁₀ y 3.07 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de PM_{2.5}, y en un tiempo de 40 minutos la dosis de inhalación estimada es de 3.16 μg de PM₁₀ y 1.78 μg de PM_{2.5}.

Experimento “B”. Exposición a partículas por adultos y niños mientras esperan cruzar la calle

En el experimento “B” se realizaron mediciones estáticas con varios dispositivos montados a dos alturas, una de 1.60 m y la otra de 0.80 m para evaluar la cantidad de partículas que respira un adulto y un niño respectivamente, mientras se acercan a un cruce de una avenida, y esperan el cambio del semáforo para cruzar o el transporte público. Las mediciones estáticas se realizaron sobre la calle 16 de septiembre y el cruce con la Av.11 oriente/poniente. Este cruce resulta atractivo puesto que sobre la Av.

11 oriente/poniente circulan varias rutas del transporte público (R23-A, R Azteca, R-S86, entre otras), por lo que se presenta un volumen importante de microbuses. Durante la mañana, ocurre principalmente que, las

personas descienden del transporte público para tomar la ruta peatonal de la 16 de septiembre dirección al zócalo, y acudir a sus lugares de trabajo, pero conforme transcurre el día, las personas también esperan en ese punto para abordar el transporte público. También es interesante este sitio, ya que a partir de la Av. 7 oriente/poniente en dirección hacia el zócalo la Calle 16 de septiembre, se convierte en peatonal, esto implica por supuesto un mayor flujo de peatones, pero también resulta que, la mayoría de los vehículos que circulan sobre la Calle 16 de septiembre, tienen que dar vuelta (izquierda); y ocurre que en las tardes se producen largas filas de autos que esperan el cambio de la luz del semáforo.

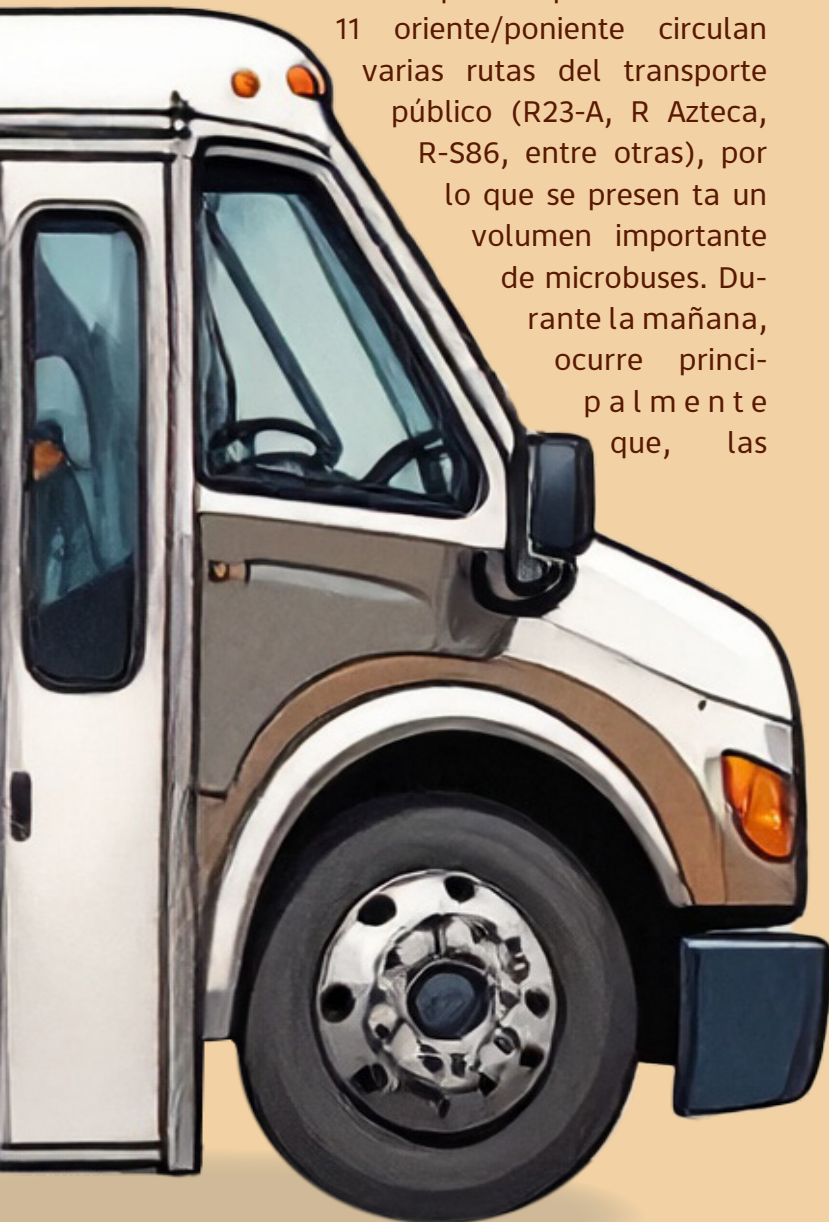


Figura 2. Esquema de la ubicación de dispositivos para medir partículas en aerosoles que respira un adulto (naranja) y un niño (verde).

Ahora se resaltan algunos de los resultados más importantes del experimento “B”. Primero, comentar que se detectó que la mayoría de los microbuses que circulan sobre la Av 11 usan gas como combustible, por lo que sus emisiones no generan incrementos en la cantidad de partículas. Sin embargo, el paso de ellos, o cuando arrancan, resuspende el

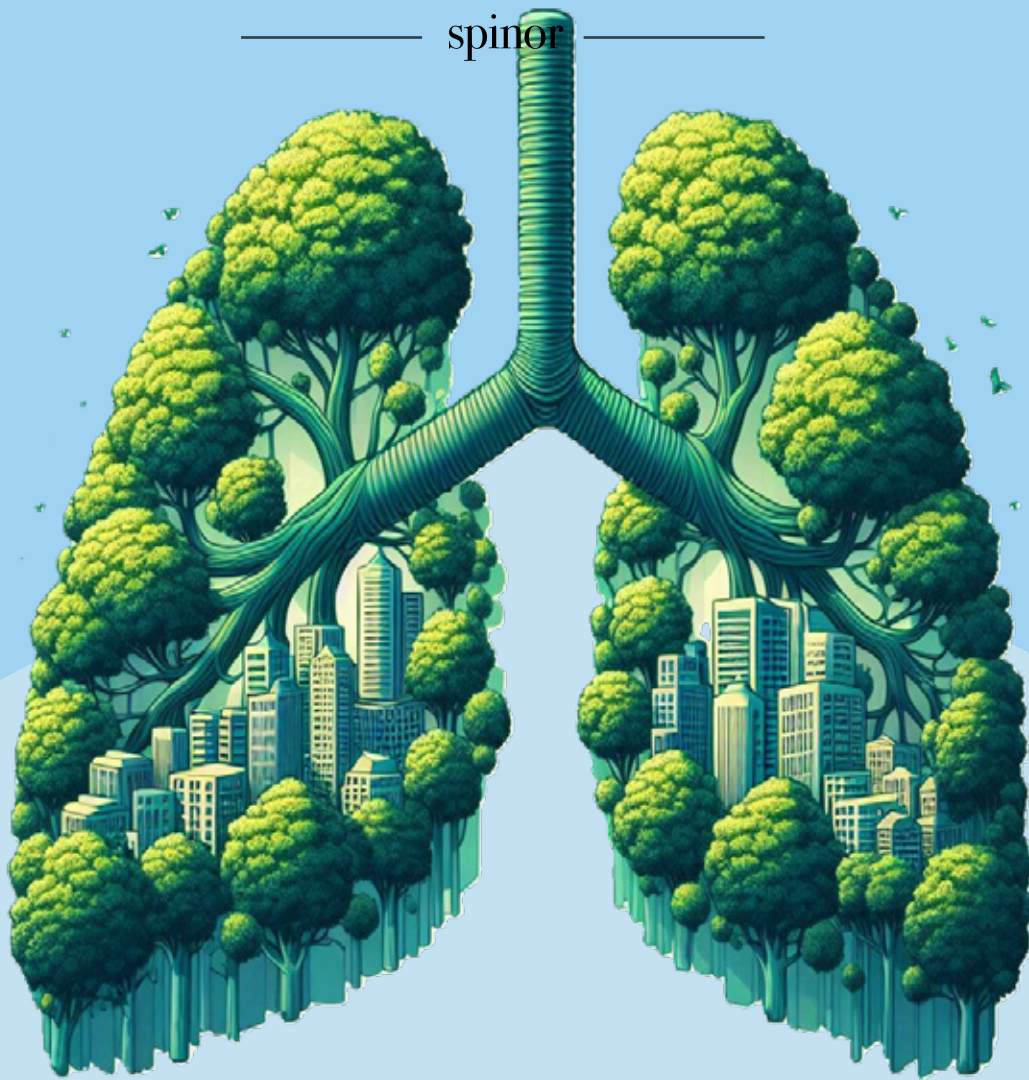
polvo que se encuentra en el suelo, lo cual si contribuye sustancialmente al aumento de las concentraciones de partículas a las que están expuestos los peatones.

Por la tarde, sobre la Calle 16 de septiembre, se forman filas de autos esperando la luz verde del semáforo para poder avanzar. Esta acumulación de autos, contribuye al incremento de las concentraciones de partículas que respiran los peatones que caminan sobre la Calle 16 de septiembre, pero también notamos que cuando el viento sopla con mayor intensidad, a pesar de la acumulación de autos no se incrementaban las concentraciones de partículas. En otras palabras, la ventilación por efectos mecánicos del viento, ayuda a mejorar la calidad del aire ambiente en esta época del año. Notese que las mediciones se realizaron al final de la época de lluvias, cuando en general la cantidad de partículas de aerosoles es menor en comparación con la temporada de secas-calientes (marzo a mayo), muy probablemente si el experimento se realiza en época de secas-calientes, en las tardes cuando el viento sopla, este ayudaría a resuspender una mayor cantidad de partículas del suelo y a traer polvo de otras partes de la ciudad.

Finalmente, una de las preguntas que motivo realizar el experimento "B" fue: conocer si los niños estaban expuestos a niveles de concentraciones mayores que el de los adultos. Resulta que en esta época del año (lluvias) la cercanía de los niños con el suelo ayuda a disminuir la cantidad de partículas a las que están expuestos en comparación con un adulto, de acuerdo con los resultados los niños estarían en general expuestos a concentraciones entre $5-10 \mu\text{gm}^{-3}$ menos que los adultos durante esta época del año.

Hay que recordar que el viento, al ser un fluido, tiene menor intensidad conforme estamos más cerca del suelo. Similar a lo que ocurre con el agua de un río, conforme más nos acercamos a la orilla la corriente es menor.





A modo de conclusión

Respirar un aire limpio es un derecho humano. Conocer la calidad del aire que respiramos es un derecho y un obligación del ciudadano. Disponer de herramientas como los dispositivos móviles de monitoreo de partículas permitirá que las personas puedan considerar a la calidad del aire como un factor para programar sus salidas al exterior, e identificar fuentes de emisiones en su vecindario y poder actuar en consecuencia. Prueba de lo anterior son los experimentos que hemos presentado aquí, estos permitieron medir las concentraciones de partículas gruesas (PM₁₀) y finas (PM_{2.5}), representando la exposición que tiene un peatón en el centro del estado de Puebla dependiendo el horario, la cercanía a fuentes de emisión, así como, los factores de ventilación para remover las partículas del aire ambiente, y considerar que el factor de resuspensión de partículas es relevante en cuanto al nivel de exposición de los peatones que esperan en los cruces de avenidas. Concordamos con Yoon et al., (2021) respecto a que el diseño de rutas peatonales y la distribución del tráfico vehicular, influyen en la exposición de los peatones a PM_{2.5}.

Referencias

1. Arciniégas, C. (2012, June). Diagnóstico y Control de Material particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable. *Revista Colombiana de Contaminación Ambiental*, 17(8).
2. Ariunsaikhan, A., Chonokhuu, S., & Matsumi, Y. (2020). Measurement of pm2.5 based on an individual in Ulaanbaatar. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph17082701>
3. Conner, T., Clements, A., Williams, R., & Kaufman, A. (2015). Evaluación de sensores de bajo costo mediante la colocación de monitores del método de referencia federal. *Environmental Science and Technology*, 49(12), 7453-7460. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02001>
4. EPA. (2024). Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). <https://espa.espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
5. Ramos, M. J., Vasconcelos, A., & Faria, M. (2015). Particulate matter inhalation for users of different transport modes in Lisbon. *Transportation Research Procedia*, 10, 101-106. doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.093
6. Yoon, S., Moon, Y., Jeong, J., Park, C.-R., & Park, S. (2018). A Network-Based Approach for Reducing PM_{2.5} Induced by Road Traffic in Seoul. *Journal of Environmental Health and Pollution*, 15(1), 1-10. [tps://doi.org/10.3390/land10101045](https://doi.org/10.3390/land10101045)

