



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AMBIENTAL DE CICLISTAS

Mauro D'Angelo (*)

Doctor en Ingeniería Ambiental por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República ([link a CVUy](#))

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República

Ignacio Franchi

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República

Valentina Colistro

Departamento de Medicina Preventiva y Social, Facultad de Medicina, Universidad de la República

Ana Clara Vera

Programa Unibici, Universidad de la República

Alicia Aleman

Departamento de Medicina Preventiva y Social, Facultad de Medicina, Universidad de la República

Elizabeth González

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República

TEMA: 5



Dirección del autor principal (*): Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay, 2714 2714 (interno 20206). Correo electrónico: mdangelo@fing.edu.uy

RESUMEN

La exposición a la contaminación atmosférica incrementa la morbilidad y la mortalidad, siendo uno de los mayores contribuyentes a la carga global de enfermedad. Por otra parte, la exposición a la contaminación sonora puede causar pérdida de audición, desórdenes del sueño, enfermedades cardiovasculares, estrés, entre otras afectaciones a la salud humana.

La calidad del aire urbano es resultado de interacciones complejas entre las emisiones de contaminantes atmosféricos, el entorno urbano y las condiciones meteorológicas. Este hecho dificulta la toma de decisiones para su gestión.

El objetivo del presente estudio es diseñar y poner en práctica una metodología de monitoreo móvil de la exposición ambiental de ciclistas en Montevideo, incluyendo la evaluación del impacto en salud, capaz de capturar en simultáneo las condiciones meteorológicas y variables del entorno urbano de interés, de forma tal de poder evaluar las interacciones mencionadas, aportando al diseño de políticas públicas de gestión de la calidad del aire urbano basadas en evidencia.

En este artículo se describe el diseño y la aplicación de la mencionada metodología de trabajo, que se entiende además podría colaborar en la detección de zonas de alta concentración de contaminantes atmosféricos actualmente no cubiertas por la red oficial de monitoreo.

Palabras Clave: Contaminación Atmosférica, Contaminación Sonora, Impacto en Salud, Monitoreo Móvil, Transporte Activo.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica puede producir efectos adversos sobre la salud humana, tanto en ambientes exteriores como interiores (Lopez, 2012). De hecho, la exposición a la contaminación atmosférica incrementa la morbilidad y la mortalidad, siendo uno de los mayores contribuyentes a la carga global de enfermedad (Cohen et al., 2017). La exposición a partículas (PM₁₀ y PM_{2,5}) y a dióxido de nitrógeno (NO₂) se ha asociado con la mortalidad (Orellano et al., 2020). De todas maneras, los riesgos asociados a la exposición a la contaminación atmosférica dependen de las concentraciones de los contaminantes, de la tasa de ventilación corporal de las personas expuestas y de los tiempos de exposición (Okokon et al., 2017). En las ciudades, la exposición a la contaminación atmosférica y sonora, y a altas temperaturas, fue asociada con efectos adversos sobre la salud humana (Nieuwenhuijsen, 2016). La exposición a la contaminación sonora puede causar pérdida de audición, desórdenes del sueño, enfermedades cardiovasculares, estrés, entre otras afectaciones a la salud humana (Gilani & Mir, 2021) (Wallas et al., 2018).

La calidad del aire urbano es resultado de interacciones complejas entre las emisiones de contaminantes atmosféricos, el entorno urbano y las condiciones meteorológicas. Este hecho dificulta la toma de decisiones para su gestión (Miskell et al., 2018) (Farrell et al., 2015) (Li et al., 2019). Estas interacciones resultan en patrones espaciales de contaminación atmosférica urbana, que son de gran importancia para la protección de la salud pública, destacándose los microambientes de tránsito como zonas de alta exposición para usuarios de medios de transporte activos (Hankey et al., 2017). A nivel de calle, diversos estudios reportan asociaciones entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos y el entorno urbano (Nieuwenhuijsen, 2016) (Miskell et al., 2018) (Cárdenas Rodríguez et al., 2016) (Hankey et al., 2017) (Weichenthal et al., 2014) (Hatzopoulou et al., 2013) (Targino et al., 2018) (Targino et al., 2016) (Apparicio et al., 2016) (Van den Bossche et al., 2015) (Jarjour et al., 2013) (Chan et al., 2001) (Schepers et al., 2015) (Santamaría, 2017). Algunos de los parámetros del entorno urbano analizados en los citados estudios son: flujo vehicular, uso del suelo, altura de edificios, densidad de construcción. Por otra parte, la relación entre la contaminación atmosférica y las condiciones meteorológicas también ha sido ampliamente documentada (Farrell et al., 2015) (Elminir, 2005) (Pearce et al., 2011) (Cataldo & González, 2018).

El objetivo del presente estudio es diseñar y poner en práctica una metodología de monitoreo móvil de la exposición ambiental de ciclistas en Montevideo, incluyendo la evaluación del impacto en salud, capaz de capturar en simultáneo las condiciones meteorológicas y variables del entorno urbano de interés, de forma tal de poder evaluar las interacciones mencionadas, aportando al diseño de políticas públicas de gestión de la calidad del aire urbano basadas en evidencia. Al mismo tiempo, se entiende que esta metodología de monitoreo podría colaborar en la detección de zonas de alta concentración de contaminantes atmosféricos actualmente no cubiertas por la red oficial de monitoreo. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación titulado *Evaluación experimental de la exposición a contaminantes atmosféricos durante el transporte activo: aportes para su zonificación en Montevideo*, financiado por el programa VUSP M2 de la Comisión Sectorial de Investigación Científica, y cuyos resultados finales han sido publicados en revistas internacionales (D'Angelo et al., 2023) (González et al., 2023) (Colistro et al., 2024). Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de la República (EXP N° 07015300058518).

METODOLOGÍA

La metodología de trabajo desarrollada y analizada en el presente artículo tomó como base diversas referencias internacionales (Farrell et al., 2015) (Hatzopoulou et al., 2013) (Apparicio et al., 2016) (Santamaría, 2017) (Targino et al., 2016).

En primer lugar, se definieron rutas de monitoreo en Montevideo a partir del trabajo conjunto con ciclistas urbanos. En este sentido, se llevó a cabo una actividad de trabajo durante la cual los ciclistas marcaron sus rutas habituales en un mapa de Montevideo, de acuerdo con el siguiente código de colores: rojo: alto

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

flujo vehicular; azul: edificios altos; verde: presencia de infraestructura ciclista; negro: elevada actividad comercial y/o industrial. A partir de las rutas indicadas por los ciclistas, considerando la presencia de las variables del entorno urbano analizadas y de estaciones oficiales de monitoreo de la calidad del aire en sus cercanías, y teniendo en cuenta la capacidad de monitoreo del equipo de trabajo, se definieron dos rutas de monitoreo en la ciudad.

Una vez que las rutas de monitoreo fueron definidas, se procedió a su relevamiento para conocer los valores de los parámetros del entorno urbano de interés a nivel de cuadra. Los parámetros analizados fueron: flujo vehicular, infraestructura ciclista, altura de edificios (promedio y desviación estándar), ancho y relación de aspecto de las calles (cociente entre la altura promedio de edificios y el ancho de calle), densidad de construcción y uso del suelo (industria y comercio).

La mayor dificultad metodológica para la evaluación del entorno urbano fue la obtención del flujo vehicular a nivel de cuadra. En este sentido, se utilizaron registros oficiales del flujo vehicular total cada cinco minutos, tomados por cámaras del Centro de Gestión de Movilidad de la Intendencia de Montevideo, localizadas en la zona de estudio y correspondientes con los registros de exposición ambiental realizados (se utilizaron valores promedio de flujo vehicular para toda la duración del recorrido). De todas maneras, hubo dos zonas de la Ruta N°1 no cubiertas por cámaras, en donde se realizaron conteos manuales de flujo vehicular simultáneos a las mediciones de exposición ambiental. Por otra parte, se realizó una campaña de conteo manual de flujo vehicular en la zona de estudio, con el objetivo de desagregar el flujo vehicular total registrado por las cámaras en distintas categorías de vehículos (autos y camionetas, ómnibus, camiones, motos y transporte activo (bicicletas y monopatines)) (Figura 1). Finalmente, los resultados obtenidos fueron interpolados para obtener valores a la escala espacial de trabajo.

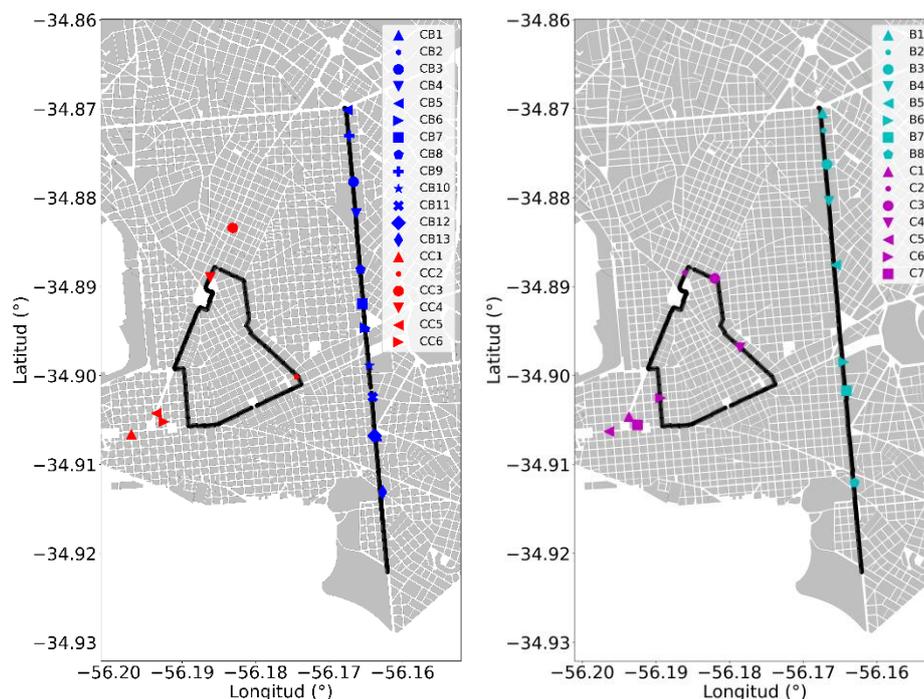


Figura 1: ubicación de las cámaras de registro del flujo vehicular (izquierda) y de los sitios de conteo vehicular manual (derecha). Las cámaras no registran el flujo de transporte activo.

Por otra parte, para evaluar la altura de cada edificio presente en la zona de estudio se utilizó la función Street View de Google Earth. Además, el ancho de calle fue también estimado utilizando Google Earth, permitiendo el cálculo de la relación de aspecto para cada cuadra. El resto de los parámetros del entorno



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

urbano evaluados se determinaron de forma porcentual a nivel de cuadra, considerando la cantidad de padrones con presencia del parámetro de interés con respecto al total de padrones existentes.

Para la realización de la campaña de monitoreo se utilizaron los equipos de medición que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: equipos de medición utilizados.

Marca	Modelo	Parámetros medidos	Frecuencia de registro
Aeroqual	Series 500 con cabezal de PM	Concentración de PM _{2,5} y PM ₁₀	1 registro por minuto
Aeroqual	Series 500 con cabezal de NO ₂	Concentración de NO ₂	1 registro por minuto
Garmin	Edge 1030 Bundle Plus	Latitud, longitud, altitud, velocidad, distancia recorrida y frecuencia cardíaca	1 registro por segundo
Pulsar	NoisePen	Nivel de presión sonora	1 registro por segundo
Aeroqual	AQM10	Concentración de PM _{2,5} y PM ₁₀ , velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y humedad relativa	1 registro cada dos minutos

Además de los equipos portátiles utilizados, en la Tabla 1 se incluye una estación de calidad del aire (equipo Aeroqual AQM10) que permitió contar con datos de parámetros meteorológicos y con concentraciones de partículas medidas en altura en simultáneo a la realización de las mediciones de exposición ambiental. Este equipo se ubicó en la azotea de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República durante toda la campaña de monitoreo (Figura 4).

Además de lo anterior, los registros de concentración de contaminantes tomados por este equipo, en conjunto con información oficial brindada por la Intendencia de Montevideo, fueron utilizados para obtener curvas de ajuste para las mediciones de los sensores portátiles, a partir de la realización de mediciones simultáneas.

Las mediciones de exposición ambiental fueron realizadas sobre ciclistas voluntarios, propiciando el intercambio entre el equipo de trabajo y la comunidad. En este sentido, se realizó una convocatoria a participar del monitoreo utilizando un afiche (Figura 2). Seguidamente, los ciclistas fueron capacitados para la realización de un recorrido a lo largo de una de las rutas de monitoreo.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país



Figura 2: afiche utilizado para la convocatoria a ciclistas.

Por otra parte, se siguió una metodología internacional para determinar el número mínimo de recorridos necesarios para cada ruta de monitoreo, con el fin de obtener concentraciones de contaminantes representativas a nivel de ruta (Van den Bossche et al., 2015). Esta metodología utiliza las concentraciones de contaminantes atmosféricos promedio a nivel de ruta obtenidas para estimar el mínimo número de recorridos necesario. El método establece que el número mínimo de recorridos a realizar es una cantidad dinámica, que se va actualizando a medida que se realizan nuevas mediciones.

En términos operativos, las mediciones de campo se realizaron en días hábiles sin lluvias, durante el pico matutino de flujo vehicular, e implicaron la realización de las siguientes actividades (Figura 3): encuentro con el ciclista voluntario en el punto de partida; encendido y sincronización de los relojes de los equipos de medición; fijación de los equipos de medición a la bicicleta del participante (Aeroqual Series 500 PM, Aeroqual Series 500 NO₂ y Garmin Edge 1030 Bundle Plus); colocación por parte del participante del sensor de frecuencia cardíaca debajo del esternón (accesorio del equipo Garmin Edge 1030 Bundle Plus) y del señor Pulsar NoisePen en el hombro; realización de un cuestionario al ciclista (variables demográficas, consumo de tabaco, hábitos, altura, peso y presencia de comorbilidades); medición de la presión arterial del ciclista; realización de una coximetría sobre el ciclista; lectura y firma del consentimiento informado por parte del participante y de un integrante del equipo de trabajo; desarrollo del recorrido ciclista (Ruta N°1 o Ruta N°2); realización de una nueva coximetría sobre el ciclista; desarmado de la instalación experimental móvil y finalización de la actividad.



Figura 3: ilustración del trabajo de campo (izquierda: armado de la estación experimental; centro: realización de un recorrido; derecha: desarmado de la instalación experimental).



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

Luego de cada medición, en primer lugar se estimaron las tasas de ventilación corporal de los ciclistas, a partir de los registros de frecuencia cardíaca (en latidos por minuto) y utilizando el promedio de dos expresiones de bibliografía (Qiu et al., 2019) (Zuurbier et al., 2009).

Luego, las mediciones tomadas por los sensores Aeroqual Series 500 fueron corregidas e integradas con los registros del equipo Pulsar NoisePen y con los del sensor Garmin Edge 1030 Bundle Plus (incluyendo las tasas de ventilación corporal estimadas), utilizando los relojes de los equipos y tomando al dispositivo GPS como referencia, ya que es el sensor que marca el inicio y el fin del recorrido. Estos datos fueron interpolados según las frecuencias de registro que se muestran en la Tabla 1, obteniéndose un registro por segundo.

Seguidamente, utilizando las concentraciones de contaminantes atmosféricos y las tasas de ventilación corporal de los ciclistas, se determinaron las dosis potenciales inhaladas de contaminantes atmosféricos y se integraron a la matriz conjunta de datos (utilizando una expresión adaptada de (Targino et al., 2018)).

A continuación, las variables meteorológicas registradas también se integraron a la matriz conjunta, interpolando estos valores en función de lo especificado en la Tabla 1. Finalmente, estos registros fueron agrupados considerando sus valores promedio por cuadra, integrándose posteriormente con las variables del entorno urbano registradas a esta escala espacial.

De esta manera, para cada recorrido ciclista se obtuvo una única matriz de datos promedio por cuadra, conteniendo toda la información necesaria para el análisis: exposición ambiental, condiciones meteorológicas y parámetros del entorno urbano.

Utilizando los datos generados, en primer lugar, se elaboró un informe de monitoreo para cada ciclista participante. Por otra parte, para cada recorrido se determinó también el porcentaje de tiempo durante el cual las concentraciones de partículas medidas sobre las bicicletas fueron mayores, en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o más, a las registradas en simultáneo en altura (Orellano et al., 2020), y también el porcentaje del tiempo durante el cual los niveles de presión sonora estuvieron por encima de 70 dBA (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Finalmente, y utilizando toda la información generada durante el trabajo de campo, se realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis estadístico multivariado utilizando la herramienta de análisis de clusters (Wilks, 2011), con el objetivo de indagar acerca de la existencia de vinculaciones entre la exposición ambiental, el entorno urbano y las condiciones meteorológicas. Todos los cálculos fueron realizados utilizando el lenguaje de programación Python en Google Colaboratory.

RESULTADOS

En primer lugar, en la Figura 4 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el proceso de definición de las rutas de monitoreo y los resultados obtenidos. Seguidamente, y aplicando el procedimiento de cálculo referenciado en la sección anterior, se obtuvo que sería necesario realizar treinta recorridos en cada ruta para la obtención de resultados representativos.

En función de lo anterior, el período de trabajo de campo se extendió entre el 10/02/2021 y el 14/12/2021, llevándose a cabo 31 recorridos en cada ruta de monitoreo. En términos generales, cada monitoreo insumió una hora de tiempo, incluyendo los períodos de armado y desarmado de la estación experimental móvil. Durante las mediciones, se contó con la participación de 57 ciclistas voluntarios, permitiendo el intercambio con la ciudadanía acerca de las temáticas del proyecto (las 5 mediciones restantes fueron realizadas por integrantes del equipo de trabajo). Se destaca que en cada ruta de monitoreo participaron 18 ciclistas varones y 13 ciclistas mujeres.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

A partir de la integración de toda la información recabada, de acuerdo con la metodología de trabajo presentada, se pudo analizar la exposición ambiental de ciclistas en función de variables del entorno urbano, y considerando las condiciones meteorológicas presentes al momento de las mediciones. Un ejemplo de esta información se presenta en la Figura 5.

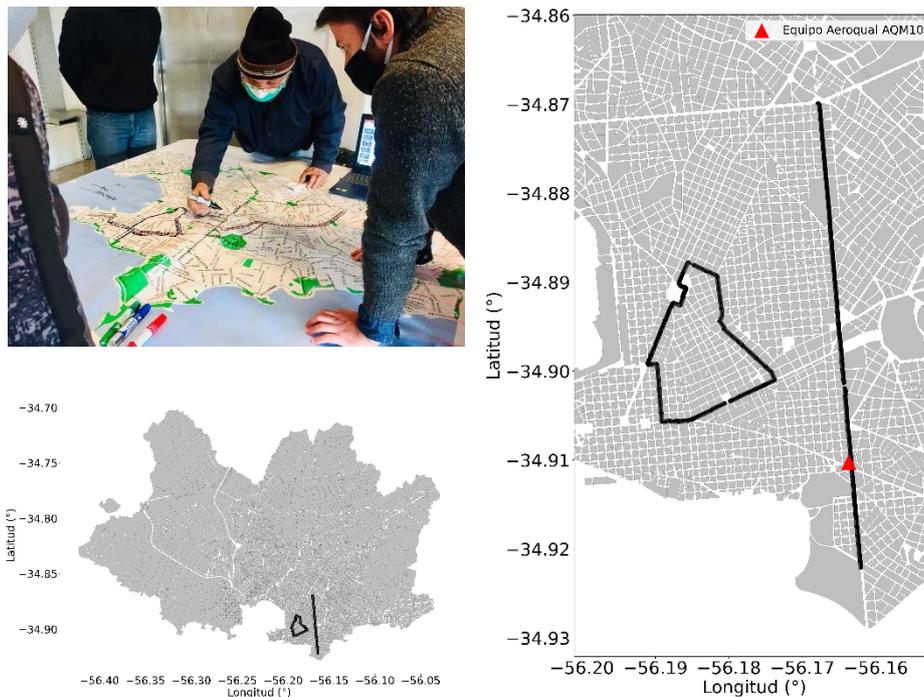


Figura 4: definición de rutas de monitoreo (Ruta N°1: circuito cerrado en el centro de la ciudad, de 5,9 km de largo, recorrido en sentido horario; Ruta N°2: tramo recto norte-sur de 5,7 km de largo, a través del Bulevar General Artigas). Se muestra la posición de uno de los equipos de monitoreo utilizados.

CONCLUSIONES

De acuerdo con diversos estudios internacionales referenciados en el presente artículo, la calidad del aire urbano es resultado de un complejo conjunto de interacciones entre las emisiones de contaminantes atmosféricos, el entorno urbano y las condiciones meteorológicas.

Estas relaciones dificultan la toma de decisiones informada en el marco de la gestión de la calidad del aire en las ciudades. Con el objetivo de contribuir al entendimiento de estas relaciones, en el presente artículo se describió el desarrollo de una metodología de trabajo que permite registrar, en simultáneo, la exposición ambiental de ciclistas, las características del entorno urbano y las condiciones meteorológicas. Esta metodología estuvo basada en referencias internacionales, pero contó también con algunos aportes originales.

Se entiende que esta metodología resultó exitosa para los objetivos del análisis y que puede replicarse en otras zonas de Montevideo y en otros departamentos. Además, se considera que la metodología de trabajo aquí presentada puede ser de utilidad también para evaluar la cobertura espacial de las estaciones de monitoreo de la red oficial.

15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

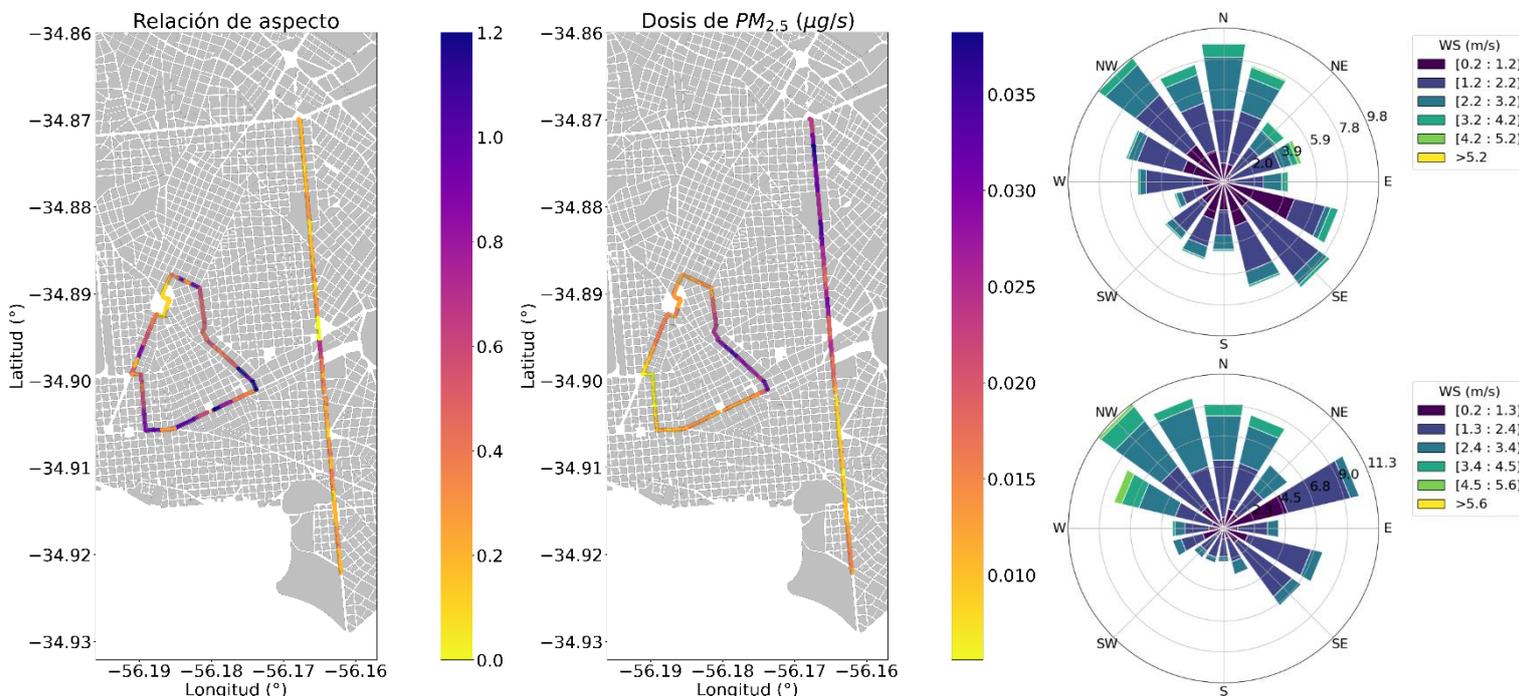


Figura 5: ejemplo de resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología de trabajo desarrollada (izquierda: mapa de relación de aspecto por cuadra; centro: mapa promedio de dosis potencial inhalada instantánea de $PM_{2.5}$ por cuadra; derecha: rosas de viento correspondientes a toda la campaña de medición para la Ruta N°1 (arriba) y para la Ruta N°2 (abajo)).

De todas maneras, a continuación, se listan algunas posibles líneas de trabajo a futuro, con el fin de optimizar la metodología aquí descrita:

- Intentar que no existan diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los parámetros meteorológicos registrados en simultáneo a las mediciones de exposición ambiental en cada una de las rutas de monitoreo. En particular, realizar las mediciones en las rutas durante las mismas estaciones del año. Durante este estudio, no se realizaron mediciones en invierno en la Ruta N°2.
- Con respecto a la evaluación del impacto en salud, se considera que la coximetría inicial realizada sobre los ciclistas puede estar influenciada por la exposición a la contaminación atmosférica experimentada durante el traslado en bicicleta hacia el punto de inicio del recorrido.
- Sería interesante poder contar con mediciones de niveles de presión sonora en un punto fijo, en simultáneo con las mediciones realizadas sobre ciclistas, con fines comparativos.

Agradecimientos.– En primer lugar, los autores agradecen a los ciclistas voluntarios que participaron en el trabajo de campo del estudio. En segundo lugar, se agradece la colaboración de la Intendencia de Montevideo, la que contribuyó al estudio con información relevante (concentraciones de contaminantes atmosféricos y registros de flujo vehicular total). En tercer lugar, los autores agradecen a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República, por permitirnos colocar un equipo de medición en sus instalaciones, durante todo el período de trabajo de campo del estudio.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apparicio, P., Carrier, M., Gelb, J., Séguin, A. M., & Kingham, S. (2016). Cyclists' exposure to air pollution and road traffic noise in central city neighbourhoods of Montreal. *Journal of Transport Geography*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.09.014>
- Cárdenas Rodríguez, M., Dupont-Courtade, L., & Oueslati, W. (2016). Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.190>
- Cataldo, J., & González, A. E. (2018). Analysis of the Relation between Particle Matter Concentration and Meteorological Parameter at Montevideo City. *Open Journal of Air Pollution*, 07(02), 120–139. <https://doi.org/10.4236/ojap.2018.72007>
- Chan, A. T., So, E. S. P., & Samad, S. C. (2001). Strategic guidelines for street canyon geometry to achieve sustainable street air quality. *Atmospheric Environment*, 35, 4089–4098. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00252-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00252-8)
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., ... Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907–1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- Colistro, V., D'Angelo, M., González, A. E., Franchi, I., Vera, A. C., & Alemán, A. (2024). Exposure to Contaminants During Active Transport in Uruguay and the Effect on Health Parameters. *Journal of Environmental Health*, 87(1), 16–22.
- D'Angelo, M., Franchi, I., Colistro, V., Vera, A. C., Aleman, A., & González, E. (2023). Associations between Environmental Exposure, Urban Environment Parameters and Meteorological Conditions, during Active Travel in Montevideo, Uruguay. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15042999>
- Elminir, H. K. (2005). Dependence of urban air pollutants on meteorology. *Science of the Total Environment*, 350(1–3), 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.043>
- Farrell, W. J., Weichenthal, S., Goldberg, M., & Hatzopoulou, M. (2015). Evaluating air pollution exposures across cycling infrastructure types: Implications for facility design. *Journal of Transport and Land Use*, 8(3), 131–149. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.702>
- Gilani, T. A., & Mir, M. S. (2021). A study on the assessment of traffic noise induced annoyance and awareness levels about the potential health effects among residents living around a noise-sensitive area. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 63045–63064. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15208-3>
- González, A. E., D'Angelo, M., Colistro, V., Franchi, I., Vera, A. C., & Alemán, A. (2023). Noise Dosimetries during Active Transport in Montevideo, Uruguay: Evaluation of Potential Influencing Factors from Experimental Data. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107758>
- Hankey, S., Lindsey, G., & Marshall, J. D. (2017). Population-Level Exposure to Particulate Air Pollution during Active Travel: Planning for Low-Exposure, Health-Promoting Cities. *Environmental Health Perspectives*, 125(4), 527–535. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5381994/pdf/EHP442.pdf>
- Hatzopoulou, M., Weichenthal, S., Dugum, H., Pickett, G., Miranda-Moreno, L., Kulka, R., Andersen, R., & Goldberg, M. (2013). The impact of traffic volume, composition, and road geometry on personal air pollution exposures among cyclists in Montreal, Canada. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 23(1), 46–51. <https://doi.org/10.1038/jes.2012.85>
- Jarjour, S., Jerrett, M., Westerdahl, D., De Nazelle, A., Hanning, C., Daly, L., Lipsitt, J., & Balmes, J. (2013). Cyclist route choice, traffic-related air pollution, and lung function: A scripted exposure study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-14>
- Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z. R., & Fu, Q. (2019). Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*, 147, 559–568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.038>
- Lopez, R. P. (2012). *The Built Environment and Public Health*. Jossey-Bass.
- Miskell, G., Salmond, J. A., & Williams, D. E. (2018). Use of a handheld low-cost sensor to explore the effect of urban design features on local-scale spatial and temporal air quality variability. *Science of the Total Environment*, 619–620, 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.024>
- Nieuwenhuijsen, M. J. (2016). Urban and transport planning, environmental exposures and health-new concepts, methods and tools to improve health in cities. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(Suppl 1). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0108-1>
- Okokon, E. O., Yli-Tuomi, T., Turunen, A. W., Taimisto, P., Pennanen, A., Vouitsis, I., Samaras, Z., Voogt, M., Keuken, M., & Lanki, T. (2017). Particulates and noise exposure during bicycle, bus and car commuting: A study in three European cities. *Environmental Research*, 154(November 2016), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.012>
- Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., & Ciapponi, A. (2020). Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 142(December 2019), 105876.



15 al 17 de octubre 2024

Cámara Mercantil de productos del país

- <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*.
- Pearce, J. L., Beringer, J., Nicholls, N., Hyndman, R. J., & Tapper, N. J. (2011). Quantifying the influence of local meteorology on air quality using generalized additive models. *Atmospheric Environment*, 45(6), 1328–1336. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.051>
- Qiu, Z., Wang, W., Zheng, J., & Lv, H. (2019). Exposure assessment of cyclists to UFP and PM on urban routes in Xi'an, China. *Environmental Pollution*, 250, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.129>
- Santamaría, J. M. (2017). *Informe Layman. Medidas para reducir la exposición de los ciclistas a los principales contaminantes atmosféricos urbanos*. https://www.cristinaenea.eus/documentos/ficheros/noticias/laymans_report_lifepplusrespira.pdf
- Schepers, P., Fishman, E., Beelen, R., Heinen, E., Wijnen, W., & Parkin, J. (2015). The mortality impact of bicycle paths and lanes related to physical activity, air pollution exposure and road safety. *Journal of Transport and Health*, 2, 460–473. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2015.09.004>
- Targino, A. C., Gibson, M. D., Krecl, P., Rodrigues, M. V. C., dos Santos, M. M., & de Paula Corrêa, M. (2016). Hotspots of black carbon and PM_{2.5} in an urban area and relationships to traffic characteristics. *Environmental Pollution*, 218, 475–486. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.027>
- Targino, A. C., Rodrigues, M. V. C., Krecl, P., Cipoli, Y. A., & Ribeiro, J. P. M. (2018). Commuter exposure to black carbon particles on diesel buses, on bicycles and on foot: a case study in a Brazilian city. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1132–1146. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0517-x>
- Van den Bossche, J., Peters, J., Verwaeren, J., Botteldooren, D., Theunis, J., & De Baets, B. (2015). Mobile monitoring for mapping spatial variation in urban air quality: Development and validation of a methodology based on an extensive dataset. *Atmospheric Environment*, 105, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.017>
- Wallas, A., Eriksson, C., Gruzjeva, O., Lind, T., Pyko, A., Sjöström, M., Ögren, M., & Pershagen, G. (2018). Road traffic noise and determinants of saliva cortisol levels among adolescents. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.11.003>
- Weichenthal, S., Farrell, W., Goldberg, M., Joseph, L., & Hatzopoulou, M. (2014). Characterizing the impact of traffic and the built environment on near-road ultrafine particle and black carbon concentrations. *Environmental Research*, 132, 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.04.007>
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (Third). Elsevier/Academic Press.
- Zuurbier, M., Hoek, G., Hazel, P. Van Den, & Brunekreef, B. (2009). Minute ventilation of cyclists, car and bus passengers: An experimental study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-48>