

ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A PM_{2.5} BASADA EN LA MOVILIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA

María Florencia Tames^{1,2}, Josefina Urquiza^{1,2,3}, Lucas Luciano Berná Peña^{1,2}, López-Noreña, Ana Isabel^{1,2,4}, Salvador Enrique Puliafito^{1,2}
mtames@mendoza-conicet.gob.ar. Autor/a correspondiente.

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

²Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente (GEAA-UTN FRM)

³Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN FRC)

⁴Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo (FCEN UNCuyo)

Palabras clave: Contaminación atmosférica, encuesta origen-destino, epidemiología ambiental.

1) INTRODUCCIÓN

La exposición al material particulado con diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micrómetros (PM_{2.5}) está asociada a diferentes afecciones, que van desde síntomas respiratorios menores hasta la muerte prematura (Valdés et al., 2012). Aunque las enfermedades respiratorias son una de las principales causas de morbilidad en todo el mundo, la tasa de afecciones del tracto respiratorio inferior es mayor en los países en vías de desarrollo (Amarillo and Carreras, 2012). La exposición a la contaminación atmosférica se produce cuando una persona respira trazas de uno o más contaminantes en el aire. Sin embargo, el lugar donde viven las personas no suele ser el único factor importante para determinar su exposición (Park and Kwan, 2017). Investigaciones recientes han demostrado que la movilidad es un factor importante para el cálculo de las exposiciones, debido a la heterogeneidad de la contaminación atmosférica relacionada con el tráfico a nivel espacial (Shekarrizfard et al., 2020). Si no se tiene en cuenta este aspecto, los niveles de exposición a contaminantes pueden estar sub o sobreestimados, ya que las personas que se trasladan están expuestas a diferentes niveles de contaminantes que las que no lo hacen (Setton et al., 2011).

A partir de la ubicación del domicilio de un individuo y de atributos tales como su edad y su situación laboral, se puede inferir su exposición diaria más probable. Esta inferencia es posible a través del uso de los datos de las encuestas de origen-destino (EOD), que proporcionan información sobre las tendencias de los viajes y las actividades diarias de una muestra representativa de la población en un área metropolitana. Las EOD tradicionalmente se desarrollaron para planificar el transporte, pero han alcanzado un importante valor para la investigación en epidemiología ambiental ya que, a partir de la información que proporcionan sobre los viajes diarios y los lugares de actividad de la población, es posible generar patrones de movilidad y actividad a un cierto nivel de agregación espacial y que, posteriormente, se puede utilizar para fundamentar la investigación relacionada con la exposición a contaminantes aéreos (Shekarrizfard et al., 2020).

En este marco, el objetivo del presente trabajo es estimar la exposición a PM_{2.5}, a través de un modelo matemático considerando la movilidad de las personas en los diferentes Departamentos (Dptos) del Área Metropolitana de Mendoza (AMM).

2) METODOLOGÍA

La Ecuación 1 muestra el cálculo general para la exposición (Ott, 1982), donde T_{ij} es el tiempo pasado en cada microambiente j por la persona i (h), C_{ij} es la concentración de contaminantes del aire que la persona i experimenta en el microambiente j ($\mu\text{g m}^{-3}$), E_i es la exposición integrada de la persona i [$(\mu\text{g m}^{-3}) \text{h}$] y m es el número de microambientes diferentes que, en este caso, son los Dptos. La exposición total diaria corresponde a la concentración total a la que se expone una persona a lo largo de todo el día (24 h), por lo que, si queremos conocer la concentración promedio horaria,

se debe dividir E_i en 24. En nuestro caso, queremos conocer la exposición a $PM_{2.5}$ de las personas que viven en cada Dpto del AMM. Para ello, la exposición total depende de la Ecuación 2.

$$E_i = \sum_{j=1}^m T_{ij} C_{ij} \quad (1)$$

$$E_{dpto} = E_{ori} + E_{tray} + E_{dest} \quad (2)$$

La Exposición por Dpto (E_{dpto}) corresponde a la sumatoria de los diferentes tipos de exposición, de acuerdo con la movilidad que se genere entre los diferentes Dptos. Así, por un lado, tenemos la exposición en el Dpto de origen (E_{ori}), que corresponde a la concentración promedio del contaminante donde reside una persona (C_{ori}), multiplicado por el tiempo promedio que las personas están en su vivienda (T_{ori}). Este tiempo corresponde a la diferencia entre las 24 h del día y las horas que pasa fuera de su hogar. La Exposición del trayecto (E_{tray}) corresponde a la sumatoria de cada concentración del Dpto de interés (C_{tray}), por el tiempo promedio de viaje en esa sección del trayecto (T_{tray}). El viaje de ida se considera igual al viaje de vuelta, tanto en tiempo como en trayecto. La Exposición de destino (E_{dest}) corresponde a la sumatoria de cada concentración del contaminante en el Dpto de destino (C_{dest}) multiplicado por el promedio ponderado de horas de cada actividad tenida en cuenta (T_{dest}). Las diferentes actividades tenidas en cuenta fueron: trabajo (9 h), escuela (5 h), recreación (2 h) y otras (1 h).

$$E_{ori} = T_{ori} C_{ori} \quad (3) \quad E_{tray} = \sum_{j=1}^m T_{tray} C_{tray} \quad (4) \quad = \sum_{j=1}^m T_{dest} C_{dest} \quad (5)$$

El área de estudio considerada corresponde a los Dptos ubicados dentro del AMM: Ciudad de Mendoza (CA), Godoy Cruz (GC), Guaymallén (GY), Las Heras (LH), Luján de Cuyo (LJ) y Maipú (MP). Para calcular las concentraciones de $PM_{2.5}$ sobre esta área, se utilizó el modelo WRF/CALPUFF, con un dominio de simulación de 23 km x 30 km (68 x 88 celdas) con resolución horizontal de 350m, que se extiende desde los 32,78 °S hasta los 33,07 °S y desde los 68,93 °O hasta los 68,67 °O. La Figura 1 muestra las concentraciones de $PM_{2.5}$ simuladas para el AMM. Finalmente, para conocer los trayectos realizados por la población en el AMM, se utilizaron los datos de la EOD realizada por el Ministerio del Interior y Transporte de Argentina en 2010, en la cual se relevaron 4.055 hogares, 14.615 personas y 24.888 viajes.

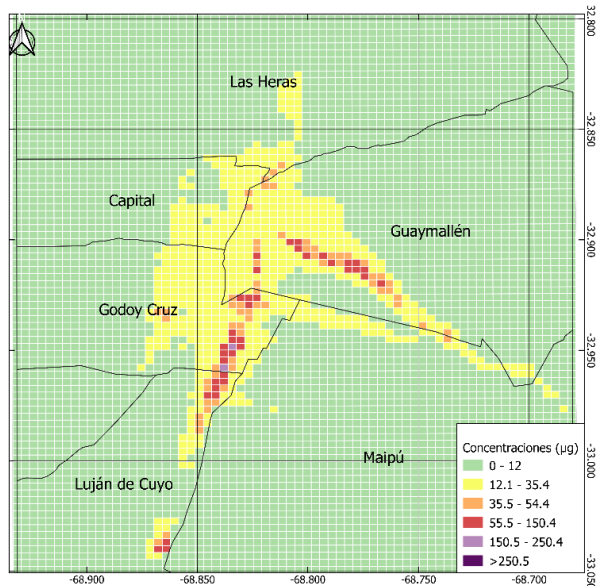


Figura 1: Mapa de concentraciones de $PM_{2.5}$ en el AMM, resultado del modelado con WRF/CALPUFF.

3) RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los promedios de cada exposición considerando el Dpto de origen, el tipo de movilidad que utiliza para trasladarse y la actividad a realizar en el Dpto de destino. Además, se muestra la exposición diaria como la sumatoria de las diferentes exposiciones promedio para cada Dpto, así como el promedio de la exposición horaria. Las personas que se encuentran en GC y GY son las personas que están expuestas a mayores concentraciones de PM diariamente, por el contrario, MP y LH son los Dptos en los que se encuentran las menores exposiciones.

Las exposiciones en trayecto son más altas que las de destino principalmente porque están influidas por el tiempo de viaje (h), ya que las modalidades de viaje a pie y en bicicleta aumentan esta proporción temporal. GC representa el Dpto con mayores exposiciones seguido por GY. Las

Sitio	E_{ori} [($\mu\text{g m}^{-3}$) h]	E_{tray} [($\mu\text{g m}^{-3}$) h]	E_{dest} [($\mu\text{g m}^{-3}$) h]	E_{dpto} [($\mu\text{g m}^{-3}$) h]	$E_{dpto} / 24 \text{ h}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)
CA	98,29	13,69	1,34	113,32	4,72
GC	183,49	11,78	1,74	197,01	8,21
GY	129,34	11,96	1,53	142,82	5,95
LH	48,49	19,93	0,95	69,37	2,89
LJ	95,63	20,61	1,40	117,64	4,90
MP	43,75	2,30	5,41	51,46	2,14

Tabla 1: Valores de exposición promedio para cada Dpto del AMM, y su promedio diario.

exposiciones de trayecto y destino son muy bajas en comparación con las de origen, debido al tiempo que una persona pasa en cada uno de los sitios. En general, la exposición de destino es muy similar para todos los Dptos, mientras que la de trayecto para LH es ligeramente superior, esto se debe a que es el Dpto que se encuentra más alejado del centro y, por lo tanto, el tiempo de recorrido es mayor. Mientras que para los Dptos más céntricos como GY y GC los resultados son menores.

4) CONCLUSIONES

Nuestros hallazgos contribuyen a la evidencia de que es valioso considerar el tiempo de cada actividad realizada en diferentes Dptos para el análisis epidemiológico de contaminantes con alta variabilidad espacial y temporal, como el $\text{PM}_{2.5}$. Este trabajo es nuestra primera aproximación a un análisis espacio-temporal de los efectos de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ en la incidencia de enfermedades respiratorias en el AMM.

REFERENCIAS

- Amarillo, A. C., & Carreras, H. A. (2012). The effect of airborne particles and weather conditions on pediatric respiratory infections in Cordoba, Argentina. *Environmental Pollution*, 170, 217–221. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.07.005>
- Ott, W. R. (1982). Concepts of human exposure to air pollution. *Environment International*, 7(3), 179–196. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(82\)90104-0](https://doi.org/10.1016/0160-4120(82)90104-0)
- Park, Y. M., & Kwan, M.-P. (2017). Individual exposure estimates may be erroneous when spatiotemporal variability of air pollution and human mobility are ignored. *Health & Place*, 43, 85–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2016.10.002>
- Setton, E., Marshall, J. D., Brauer, M., Lundquist, K. R., Hystad, P., Keller, P., & Cloutier-Fisher, D. (2011). The impact of daily mobility on exposure to traffic-related air pollution and health effect estimates. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 21(1), 42–48. <https://doi.org/10.1038/jes.2010.14>
- Shekarrizfard, M., Minet, L., Miller, E., Yusuf, B., Weichenthal, S., & Hatzopoulou, M. (2020). Influence of travel behaviour and daily mobility on exposure to traffic-related air pollution. *Environmental Research*, 184, 109326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109326>
- Valdés, A., Zanobetti, A., Halonen, J. I., Cifuentes, L., Morata, D., & Schwartz, J. (2012). Elemental concentrations of ambient particles and cause specific mortality in Santiago, Chile: A time series study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-82>