

## Calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM10) en la zona este 2

### *Indoor air quality through ecological and social indicators associated with the immission of particulate matter (PM10) in the eastern zone 2*

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.623.028>

Roberto Carlos Dávila Morán <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-3181-8801>

Eucaris del Carmen Agüero Corzo <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-4587-3852>

Vitelio Asencios Tarazona <sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-0253-3148>

Jhonny Henry Piñán García <sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-0263-7668>

Guadalupe Ramírez Reyes <sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-4007-7729>

Nérida del Carmen Pastrana Díaz <sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-8357-3012>

Fermín Rolando Montesinos Chávez <sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0138-2007>

Recibido: 10/03/2022

Aceptado: 30/06/2022

### RESUMEN

El material particulado (PM) es uno de los contaminantes más importantes presentes en el aire, representando un riesgo medioambiental para la salud. Las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos (PM10), al ser inhalables, pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones, contribuyendo al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón, enfermedades mentales, dermatitis, daño ocular e incluso al aumento en las tasas de mortalidad. Se estableció como objetivo determinar la calidad del aire interior asociada a la inmisión de material particulado (PM10) en la zona este 2, un sector industrial ubicado en los distritos san juan de Lurigancho y Lurigancho-Chosica, Perú. Para tal fin, se propone el uso de indicadores duales: ecológicos y sociales. De acuerdo a los indicadores ecológicos explorados, la concentración media de PM10 en el aire exterior (CME) superó el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> establecido por MINAM. Aunque la mediana de CME (93,7µg/m<sup>3</sup>; IC 95%=89,07-98,33) estuvo por debajo de este límite, el cuartil superior lo superó, entendido por elevaciones puntuales de hasta 131 µg/m<sup>3</sup> (Figura 2), potencialmente dañinos para la salud humana. El coeficiente de correlación de Spearman de 0,921, obtenido del análisis bivariado entre los valores de concentración media diaria de PM10 exterior e interior, previo a la instalación de filtros en los sistemas de ventilación, es sugerente del efecto que puede tener la inmisión de aire ambiental con material particulado como vector de la contaminación del aire interior. al considerar los valores de la concentración media diaria, obtenidos en los 15 días posteriores a la instalación de los filtros (CMIFI), se observa que la concentración media de PM10 en el interior disminuyó en relación a la quincena anterior. El coeficiente de correlación de Spearman de 0,869 entre los indicadores CMIFI y CME, permite proponer que, en esta segunda fase, la calidad del aire interior fue influenciada en menor proporción por la contaminación de material particulado del aire ambiental, es decir que se presentó menos inmisión de PM10, gracias al proceso de filtrado, lo que disminuye el riesgo para la salud de los trabajadores.

**Palabras clave:** Calidad del aire, contaminación, material particulado, PM10, indicadores ecológicos, indicadores sociales.

### ABSTRACT

Particulate matter (PM) is one of the most important pollutants present in the air, representing an environmental risk to health. Particles with a diameter of 10 microns or less (PM10), being inhalable, can penetrate and lodge deep in the lungs, contributing to the risk of developing cardiovascular and respiratory diseases, as well as lung cancer, mental illness, dermatitis, eye damage and even increased mortality rates. The objective was to determine the indoor air quality associated with the immission of particulate matter (PM10) in East Zone 2, an industrial sector located in the districts of San Juan de Lurigancho and Lurigancho-Chosica, Peru. To this end, the use of dual indicators is proposed: ecological and social. According to the ecological indicators explored, the average concentration of PM10 in outdoor air (CME) exceeded the limit of 100 µg/m<sup>3</sup> established by MINAM. Although the CME median (93.7µg/m<sup>3</sup>; 95% CI=89.07-98.33) was below this limit, the upper quartile exceeded it, understood as point elevations of up to 131µg/m<sup>3</sup> (Figure 2), potentially harmful to human health. Spearman's correlation coefficient of 0.921, obtained from the bivariate analysis between the daily average concentration values of outdoor and indoor PM10, prior to the installation of filters in the ventilation systems, is suggestive of the effect that the immission of ambient air can have with particulate matter as a vector of indoor air pollution. When considering the values of the average daily concentration, obtained in the 15 days after the installation of the filters (CMIFI), it is observed that the average concentration of PM10 in the interior decreased in relation to the previous fortnight. Spearman's correlation coefficient of 0.869 between the CMIFI and CME indicators allows us to propose that, in this second phase, indoor air quality was influenced to a lesser extent by particulate matter contamination in the ambient air, that is, there was less PM10 immission, thanks to the filtering process, which reduces the risk to the health of workers.

**Keywords:** Air quality, pollution, particulate matter, PM10, ecological indicators, social indicators.

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN). Lima, Perú

<sup>2</sup> Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Maturín, Venezuela

## Introducción

El material particulado (PM) es uno de los contaminantes más importantes presentes en el aire, representando un riesgo medioambiental para la salud. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), el PM consiste en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, entre las que se destacan los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos (**PM<sub>10</sub>**), **al ser inhalables, pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones**, aunque las partículas que tienen un diámetro de 2,5 micrones o menos (PM<sub>2.5</sub>) resultan aún más riesgosas, ya que pueden, además, atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo (OMS. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> Acceso diciembre 2021).

Según advierte la OMS, (2021) la exposición continuada a altas concentraciones de PM<sub>10</sub> tiene efectos adversos en la salud de los seres humanos, contribuyendo al riesgo de desarrollar **enfermedades cardiovasculares y respiratorias**, así como **cáncer de pulmón**. Otras investigaciones han relacionado la exposición continuada a diversas concentraciones de PM<sub>10</sub> con la prevalencia de **enfermedades mentales** (Lee, J. H., Byun, M. S., Yi, D., Ko, K., Jeon, S. Y., Sohn, B. K., Lee, J. Y., Lee, Y., Joung, H., Lee, D. Y., & KBASE Research Group. 2020. Long-Term Exposure to PM<sub>10</sub> and in vivo Alzheimer's Disease Pathologies. *Journal of Alzheimer's disease: JAD*, 78(2), 745–756. <https://doi.org/10.3233/JAD-200694>; Petrowski, K., Bühner, S., Strauß, B., Decker, O., & Brähler, E. (2021). Examining air pollution (PM<sub>10</sub>), mental health and well-being in a representative German sample. *Scientific reports*, 11(1), 18436. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93773-w>), **dermatitis** (He, Y., Shi, C. R., Guang, Q., Luo, Z. C., Xi, Q., & Han, L. (2021). *Zhongguo yi xue ke xue yuan xue bao. Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 43(4), 521–530. <https://doi.org/10.3881/j.issn.1000-503X.13046>), **daño ocular** (Chen, R., Yang, J., Chen, D., Liu, W. J., Zhang, C., Wang, H., Li, B., Xiong, P., Wang, B., Wang, Y., Li, S., & Guo, Y. (2021). Air pollution and hospital outpatient visits for conjunctivitis: a time-series analysis in Tai'an, China. *Environmental science and pollution research international*, 28(12), 15453–15461. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11762-4>; Fu, Q., Mo, Z., Gu, Y., Lu, B., Hao, S., Lyu, D., Xu, P., Wu, L., Lou, X., Jin, H., Wang, X., Chen, Z., & Yao, K. (2021). Association between outpatient visits for pterygium and air pollution in Hangzhou, China. *Environmental pollution*, 291, 118246. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118246>), y **problemas perinatales** (Park, E. J., Yoon, C., Han, J. S., Lee, G. H., Kim, D. W., Park, E. J., Lim, H. J., Kang, M. S., Han, H. Y., Seol, H. J., & Kim, K. P. (2021). Effect of PM<sub>10</sub> on pulmonary immune response and fetus development. *Toxicology letters*, 339, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.11.024>; Chaiwangyen, W., Pintha, K., Tantipaiboonwong, P., Nuntaboon, P., Khantamat, O., & Pereira de Sousa, F. L. (2022). PM<sub>10</sub> Alters Trophoblast Cell Function and Modulates miR-125b-5p Expression. *BioMed research international*, 2022, 3697944. <https://doi.org/10.1155/2022/3697944>). Por su parte, Heinrich *et al.*, (2013) en un estudio de cohorte femenina, determinaron que un aumento de siete microgramos por metro cúbico (7 µg/m<sup>3</sup>) en la exposición media anual a PM<sub>10</sub> ambiental se asoció con un aumento de la **mortalidad** por cualquier causa (HR=1,15; IC del 95%=1,04-1,27), de la **muerte por evento cardiopulmonar** (HR=1,39; IC del 95%=1,17-1,64), y **mortalidad por cáncer de pulmón** (HR=1,84; IC del 95%=1,23-2,74) (Heinrich, J., Thiering, E., Rzehak, P., Krämer, U., Hochadel, M., Rauchfuss, K. M., Gehring, U., & Wichmann, H. E. (2013). Long-term exposure to NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> and all-cause and cause-specific mortality in a prospective cohort of women. *Occupational and environmental medicine*, 70(3), 179–186. <https://doi.org/10.1136/oemed-2012-100876>).

No obstante, para estudiar los efectos de la contaminación por PM<sub>10</sub> se deben considerar dos escenarios: la **contaminación del aire exterior**, que se da por fuentes fijas y móviles, mayormente en entornos urbanos e industriales; y **contaminación del aire interior**. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) indica que esta última puede generarse durante actividades de combustión o manufactura dentro de las edificaciones, sin embargo, acota que parte del PM suele proceder del exterior, un concepto denominado **inmisión de material particulado**, que se da debido a dinámicas tanto naturales como mecánicas: **de forma natural**, el aire del exterior ingresa a las edificaciones gracias al viento y a las diferencias en la temperatura del aire entre los espacios cerrados y los externos, a través de puertas, ventanas, y de aberturas, juntas y rajaduras en paredes, pisos y cielorrasos; por otro lado, existen diversos **dispositivos de ventilación mecánica**, que van desde ventiladores hasta sistemas de conductos que circulan el aire constantemente, acondicionando, filtrando y distribuyendo el aire exterior hasta puntos estratégicos de la edificación (EPA. (2022). Material particulado interior. Disponible en: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-particulate-matter> Acceso febrero 2022). Sin embargo, cuando la ventilación natural o mecánica es deficiente, la tasa de intercambio del aire es baja, permitiendo el aumento en los niveles de contaminantes, pudiendo llegar a concentraciones entre 2 y 5 veces más altas que las típicas al aire libre (Silva Potí, B., & Conde Heredia, J. A. (2020). Factores del entorno habitacional de los edificios que afectan a la salud y bienestar de los usuarios. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12251/2164> Acceso noviembre 2021; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). Indoor Exposure to Fine

Particulate Matter and Practical Mitigation Approaches: Proceedings of a Workshop. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26331>.

Tomando además en consideración que las personas, en promedio, pasan aproximadamente 8 de cada 10 horas dentro de edificaciones, EPA, (2021) estima que el 72% de la exposición humana a los contaminantes aéreos ocurre cuando están en espacios interiores, (EPA. 2021. Acerca de la calidad del aire interior. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/cai/acerca-del-calidad-del-aire-interior> Acceso diciembre 2021). En este contexto, organismos internacionales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), e instituciones gubernamentales como el Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, advierten del **riesgo que representa para los trabajadores la exposición** a concentraciones nocivas de contaminantes aéreos durante sus jornadas laborales, especialmente en entornos industriales, donde comúnmente se genera PM en sus procesos, y donde se implementan dispositivos de ventilación mecánica, lo que facilita la inmisión de PM<sub>10</sub> desde el exterior (OIT. (1978). International Symposium on the Control of Air Pollution in the Working Environment, Stockholm (Sweden), 6-8 September 1977. Disponible en: <https://www.oshclibrary.dole.gov.ph/cgi-bin/koha/opac-MARCdetail.pl?biblionumber=535> Acceso octubre 2021; Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. (1989). NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp\\_243.pdf/9f6cbb4-ac26-4d0b-aae7-068ca6e66914](https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_243.pdf/9f6cbb4-ac26-4d0b-aae7-068ca6e66914) Acceso octubre 2021; Montt, G. E. (2018). The Gendered Effects of Air Pollution on Labour Supply. Geneva: ILO. Research Department working paper (International Labour Organization), 27. Disponible en: [https://labordoc.ilo.org/discovery/delivery/41ILO\\_INST:41ILO\\_V1/1252307610002676](https://labordoc.ilo.org/discovery/delivery/41ILO_INST:41ILO_V1/1252307610002676) Acceso agosto 2021).

Fernández Matallana *et al.*, (2016) realizaron una evaluación de la exposición laboral a material particulado en empresas pertenecientes a diferentes sectores económicos en Colombia, logrando caracterizarlo como un riesgo importante, por lo cual proponen fomentar el desarrollo de los sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo a fin de disminuir la exposición laboral al PM (Fernández Matallana, J. C., Varona, M., & Ibañez, M. (2016). Evaluación de la exposición laboral a material particulado en empresas pertenecientes a diferentes sectores económicos en Colombia, 2014. Tesis doctoral, Universidad del Rosario. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12791/EVALUACION%20DE%20LA%20EXPOSICION%20LABORAL%20A%20MATERIAL%20PARTICULADO%20EN%20EMPRESAS%20PERTENECIENTES%20A%20DIFERENTES%20SECTORES%20ECONOMICOS%20EN%20COLOMBIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acceso octubre 2021). A fin de reducir la inmisión de PM, Laumbach *et al.*, (2015) resaltan la necesidad de implementar medidas como la colocación de filtros en los sistemas de circulación de aire, facilitando el cumplimiento de las directrices de la OMS, (2021) sobre la calidad del aire, las cuales establecen **topes recomendados** para la concentración media de PM<sub>10</sub> de **15 µg/m<sup>3</sup> anuales y 45 µg/m<sup>3</sup> diarios** (Laumbach, R., Meng, Q., & Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *Journal of Thoracic Disease*, 7(1), 96–107. <https://doi.org/10.3978%2Fj.issn.2072-1439.2014.12.21>). En el Perú, el ministerio de ambiente (MINAM), mediante decreto supremo 003 de 2017 normatizó los límites para la concentración media de PM<sub>10</sub> en **50 y 100 µg/m<sup>3</sup> anual y diaria**, respectivamente (MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/> Acceso agosto 2021).

En la Nación peruana, uno de los sectores que históricamente ha excedido los límites mencionados para la concentración media diaria y anual de PM<sub>10</sub> es la zona este 2, de uso mayormente industrial, ubicado en los distritos San Juan de Lurigancho y Lurigancho-Chosica; que, debido a estar integrado a la Lima metropolitana, es considerado como foco de contaminación aérea, en detrimento de la salud de los habitantes de esta capital. De acuerdo a los reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), los reportes anuales de concentración de PM provenientes de la estación San Juan de Lurigancho, han aumentado anualmente un promedio de 1,7 µg/m<sup>3</sup> entre 2014 y 2018 (SENAMHI. (2019). Lima: Concentraciones de contaminantes del aire presentan incremento. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/noticias/126599-lima-concentraciones-de-contaminantes-del-aire-presentan-incremento> Acceso agosto 2021; SENAMHI. (2022). Contaminación del aire de San Juan De Lurigancho, Lima. Índice de la Calidad del Aire (ICA). Disponible en: <https://aqicn.org/city/peru/lima/san-juan-de-lurigancho/es/> Acceso enero 2022)

## Determinación de indicadores mixtos de calidad del aire: propuesta metodológica

Se estableció como objetivo determinar la calidad del aire interior asociada a la inmisión de material particulado (PM<sub>10</sub>) en la zona este 2. Para tal fin, se propone el uso de indicadores, al ser herramientas fundamentales para la valoración y el seguimiento de los objetos en estudio (Díaz Corrales, A. V., & Pedroza Pacheco, M. E. (2018). Indicadores de impacto en la investigación científica. *Revista científica de FAREM-Estelí*, (25), 60-66. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i25.5683>), en dos categorías específicas: indicadores sociales e indicadores ecológicos.

### Indicadores sociales

De acuerdo a Gómez & Sabeh, (2001) los indicadores sociales son de índole estadística, y permiten medir datos y hechos vinculados al bienestar de una población (Gómez, M., & Sabeh, E. 2001. Calidad de vida. Evolución del concepto y su influencia en la investigación y la práctica. Salamanca: Instituto Universitario de Integración en la Comunidad,

Facultad de Psicología, Universidad de Salamanca. Disponible en: [https://www.academia.edu/download/50439087/Calidad\\_de\\_Vida\\_Evolucion\\_del\\_Concepto.pdf](https://www.academia.edu/download/50439087/Calidad_de_Vida_Evolucion_del_Concepto.pdf) Acceso agosto 2001). El uso de indicadores sociales como parte de un estudio más amplio de seguimiento ambiental, ya ha sido aplicado en anteriores metodologías investigativas y procedimentales, tal como lo evidencia Jiménez Mejía & Pulgarín Calle, (2010) en el estudio titulado “Sistemas de indicadores de la calidad del aire” (Jiménez Mejía, J. F., & Pulgarín Calle, D. E. (2010). Sistema de indicadores de la calidad del aire para puertos marítimos colombianos. *Gestión y ambiente*, 13(3), 37-49. Disponible en: [https://scholar.google.com/scholar\\_url?url=https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8116&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=1&d=4362623351855823150&ei=x\\_DhYtqPI46EmgGY\\_L6QCw&scisig=AAGBfm0jLzKW16lMsG6I9iuOlvCIOyedHg](https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8116&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=1&d=4362623351855823150&ei=x_DhYtqPI46EmgGY_L6QCw&scisig=AAGBfm0jLzKW16lMsG6I9iuOlvCIOyedHg) Acceso febrero 2021).

Y es que desde, una óptica social, los riesgos a la salud pueden aumentar en determinadas poblaciones o individuos vulnerables, debido a inequidades sociales o ambientales; según Rodríguez Álvarez, (2020) la susceptibilidad de la población no solo depende de su condición socio ambiental, sino también de la capacidad de resistencia que se traduce en términos de prevención y conocimiento, que en la cotidianidad pueden influir en conductas individuales o colectivas de respuesta; por lo tanto, la percepción pública de la contaminación del aire determina juicios y decisiones de la población que influye en sus acciones cotidianas, y en consecuencia, puede determinar cierto tipo de exposición (Rodríguez Álvarez, M. S. (2020). Percepción de los efectos en salud asociados a la contaminación atmosférica y estimación de la mortalidad evitable que implica su reducción en el DMQ. Bachelor's thesis, PUCE-Quito. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17425> Acceso agosto 2021).

Se propone coleccionar los conocimientos, actitudes y antecedentes de los trabajadores del complejo industrial, en cuanto a la inmisión de material particulado, ajustando el cuestionario aportado y validado por Torres Ordoñez *et al.*, (2021) (Torres Ordoñez, L. H., Arguello Pazmiño, A. M., Reyes Soriano, F. E., & Ortiz Novillo, C. R. (2021). Contaminación del aire y su influencia en la incidencia de enfermedades respiratorias en Santa Elena Ecuador 2020. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(2), 328-336. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.612.023>), para determinar los siguientes indicadores sociales:

- ECT=Exposición crónica de los trabajadores a PM<sub>10</sub> interior
- EDT=Exposición media diaria de los trabajadores a PM<sub>10</sub> interior
- IAC=Importancia atribuida a la calidad del aire
- CPM=Conocimiento sobre PM
- RIC=Reconocimiento de participación de la inmisión en la contaminación del aire interior
- RAC=Riesgo atribuido a la contaminación por PM<sub>10</sub> interior
- PEC=Posibles efectos de la contaminación por PM<sub>10</sub> interior en la salud de los trabajadores

### Indicadores ecológicos

Según lo expresa la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), los indicadores ecológicos son un parámetro o valor derivado que proporciona información para describir el estado de un fenómeno o área medioambiental de una forma más detallada (CEPAL, 2004. Revisión de desempeño ambiental en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE. Disponible en: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/6754> Acceso agosto 2021). Siguiendo este principio, las directrices de la OMS, (2021) sobre la calidad del aire establecen que los indicadores deben informar de las concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM<sub>10</sub> por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de aire, además de incluir mediciones sistemáticas que expresen las concentraciones de material particulado en microgramos (µg/m<sup>3</sup>).

En concordancia al marco aportado por CEPAL, (2004) a los lineamientos establecidos por OMS, (2001) y a los objetivos establecidos, se modificaron los indicadores ecológicos propuestos en la investigación “Relationship of Indoor, Outdoor and Personal Air” (RIOPA) y descritos por Meng *et al.*, (2009) los cuales estudian concentraciones de masa y especies de PM medidas en interiores, exteriores y personales, además de los mecanismos que gobiernan la penetración de PM a edificaciones (Meng, Q. Y., Spector, D., Colome, S., & Turpin, B. (2009). Determinants of Indoor and Personal Exposure to PM<sub>2.5</sub> of Indoor and Outdoor Origin during the RIOPA Study. *Atmospheric environment*, 43(36), 5750–5758. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.066>). Como criterios técnicos de valoración, se consideraron las directrices de la OMS sobre la calidad del aire que recomiendan no exceder la concentración media de 45 µg/m<sup>3</sup> para las PM<sub>10</sub> (OMS, 2021), y la norma Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que determina una exposición máxima de 100 µg/m<sup>3</sup>. Los indicadores ecológicos obtenidos se listan a continuación:

- CME=Concentración media diaria de PM<sub>10</sub> exterior (µg/m<sup>3</sup>)
- CMI=Concentración media diaria de PM<sub>10</sub> interior (µg/m<sup>3</sup>)
  - en condiciones normales (CMI<sub>CT</sub>) y
  - en condiciones experimentales (CMI<sub>FI</sub>)

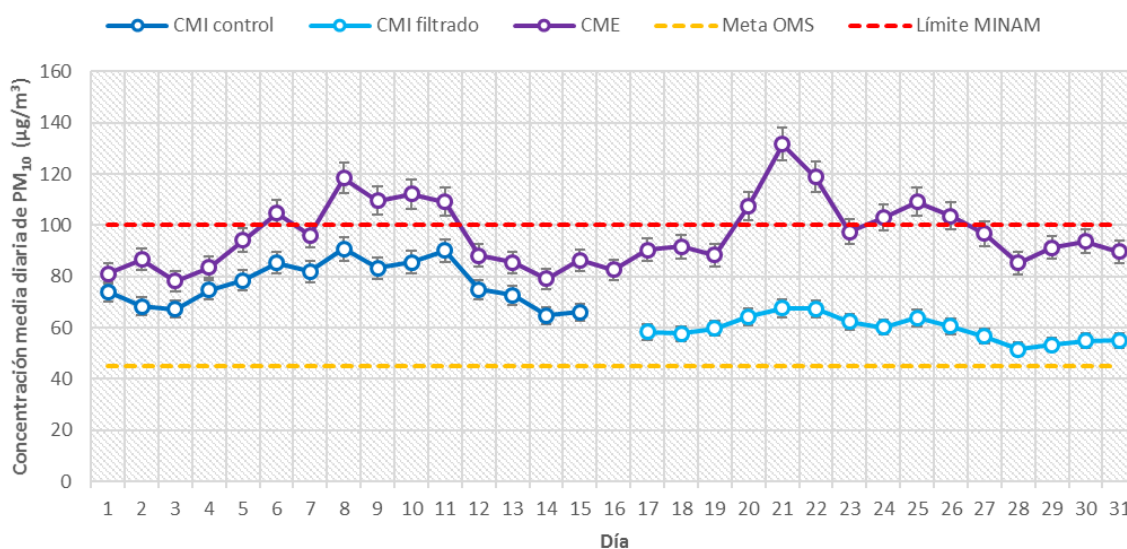
Para determinar los valores  $CMI_{CT}$  y  $CME$ , durante los días 1 a 15 de julio de 2021 se llevaron a cabo mediciones sistemáticas de concentración de  $PM_{10}$  en dos locaciones un complejo industrial que pidió permanecer anónimo, correspondientes a la toma y salida de los ductos de ventilación del complejo, para el aire exterior e interior, respectivamente, en un rango no mayor a 5 metros. Para tal fin, se emplearon dos muestreadores de alto volumen (Hi-Vol) modelo  $PM_{10}$  de la marca Thermo Scientific, previamente calibrados y verificados (caudal 1,7 litros/min), según metodología 0600 de la NIOHS, en donde el  $PM$  suspendido es separado inercialmente en fracciones de uno a más, dentro de un rango menor de 10 micras (NIOHS. (2003). Particulates not otherwise regulated, respirable 0600. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0600.pdf> Acceso febrero 2021). Cada 24 horas, cada fracción dentro del rango establecido para  $PM_{10}$  fue colectada del filtro. Cabe precisar que el filtro es pesado, antes y después de su uso, con la finalidad de determinar la ganancia neta o masa de  $PM_{10}$  recolectado. El volumen del total del aire muestreado se determinó a partir del flujo medido y el tiempo de muestreo.

Una vez finalizada la primera fase de muestreo en condiciones control, se instalaron filtros HEPA en la toma y salida de los ductos de ventilación del complejo, los cuales logran impedir el paso de al menos el 50% del  $PM_{10}$  de acuerdo a la norma ISO 16890 de 2016. Posteriormente, entre el 17 y 31 del mismo mes, se determinaron los valores  $CMI_{FI}$  y  $CME$  restantes, aplicando el mismo procedimiento con los muestreadores Hi-Vol.

Para el análisis estadístico de los indicadores ecológicos, se propone el uso de la metodología aportada por Montoya *et al.*, (2013) los cuales estudiaron la correlación entre la concentración media diaria de  $PM_{10}$  interior y exterior en 118 edificaciones, mediante el análisis bivariado y la determinación del coeficiente de Spearman. Se consideran intervalos de confianza al 95% (Montoya-Rendon, M. L., Zapata-Saldarriaga, P. M., & Correa-Ochoa, M. A. (2013). Contaminación ambiental por  $PM_{10}$  dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia. Revista de Salud Pública, 15, 103-115. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rsap/2013.v15n1/103-115/es/> Acceso febrero 2021).

## Hallazgos preliminares en la zona este 2

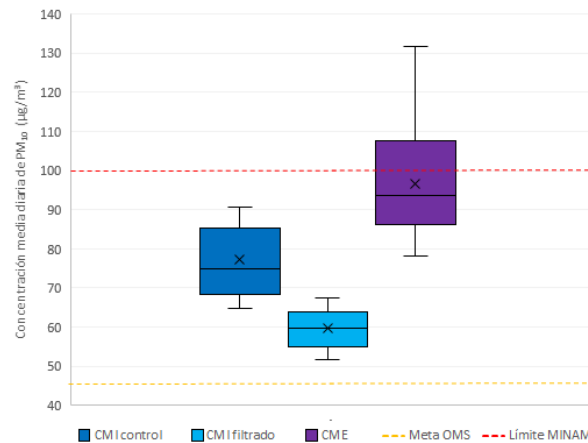
Como se observa en la figura 1, el muestreador externo permitió determinar los valores de  $CME$  durante 31 días, de los cuales, en 11 (35,48%) se encontró que la concentración media de  $PM_{10}$  en el aire exterior superó el límite de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por MINAM. Aunque la mediana de  $CME$  ( $93,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; IC 95%=89,07-98,33) estuvo por debajo de este límite, el cuartil superior lo superó, entendido por elevaciones puntuales de hasta  $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 2), **potencialmente dañinos para la salud humana**. Ahora bien, la amplitud de  $CME$  es consistente con los datos oficiales de la estación San Juan de Lurigancho (Figura 3), que indican concentraciones diarias de  $PM_{10}$  ambiental mayormente en los rangos de 51 a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de 101 a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (colores amarillo y naranja, respectivamente) en el mismo periodo de estudio.



**Figura 1. Concentración media diaria de  $PM_{10}$  exterior e interior en industria A, previo y durante el uso de filtros en el sistema de ventilación**

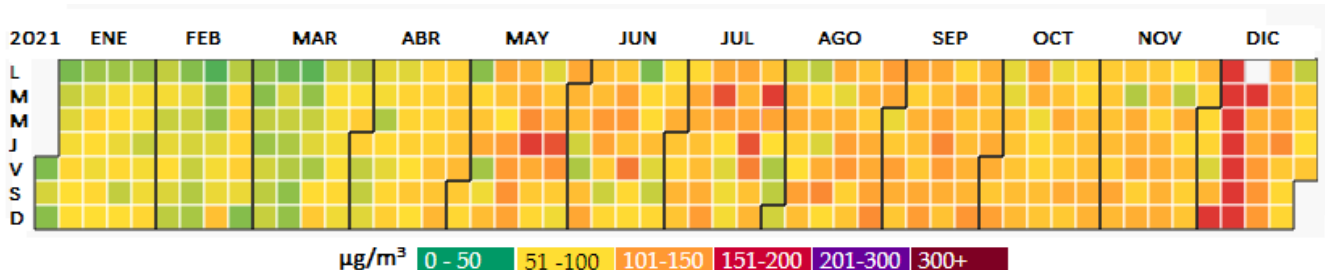
En referencia a los valores de  $CMI_{CT}$  obtenidos dentro del complejo industrial en los primeros quince días, se destacan concentraciones mínimas y máximas de  $64,83$  y  $90,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente (Figuras 1 y 2) por debajo del límite de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por MINAM, pero superiores a la meta de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dada por la OMS, representados por una mediana de  $74,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IC 95%=70,11-79,69). Por otra parte, en la figura 1 se observan tendencias similares entre las concentraciones medias de  $PM_{10}$  exterior e interior ( $CMI_{CT}$  y  $CME$ ), ejemplificado en el comportamiento ascendente de ambos indicadores entre el tercer y octavo día de muestreo. El coeficiente de correlación de Spearman de **0,921**, obtenido del análisis bivariado entre los valores de concentración media diaria de  $PM_{10}$  exterior e interior, previo a la

instalación de filtros en los sistemas de ventilación, es sugerente del efecto que puede tener la **inmisión de aire ambiental con material particulado como vector de la contaminación del aire interior**. Resultados similares fueron obtenidos por Montoya-Rendón *et al.*, (2013) en su investigación, ya que al cruzar PM<sub>10</sub> intra y extradomiciliario se encontró correlación positiva; y también por, Adonis, (1995) quien encontró la infiltración de la contaminación ambiental del exterior sería la principal fuente de contaminación de espacios interiores, en el centro de Santiago de Chile, pudiendo implicar grave peligro para la salud humana (Adonis, M., Cáceres, D., Moreno, G., & Gil, L. (1995). Contaminación del aire en espacios interiores. Ambiente y desarrollo, 11, 79-89).



**Figura 2. Distribución cuartílica de los indicadores ecológicos**

Ahora bien, al considerar los valores de CMI<sub>FI</sub>, obtenidos en los 15 días posteriores a la instalación de los filtros, se observa que la concentración media de PM<sub>10</sub> en el interior disminuyó en relación a la quincena anterior (sin filtros), lo cual es apreciable en las figuras 1 y 2, y en el decrecimiento de 15,1 µg/m<sup>3</sup> entre la mediana de CMI<sub>CT</sub> (74,89µg/m<sup>3</sup>, IC 95%=70,11-79,69) y de CMI<sub>FI</sub> (59,8µg/m<sup>3</sup>; IC 95%=57,1-62,5). El coeficiente de correlación de Spearman de 0,869 entre los indicadores CMI<sub>FI</sub> y CME, permite proponer que, en esta segunda fase, la calidad del aire interior fue influenciada en menor proporción por la contaminación de material particulado del aire ambiental, es decir que se presentó menos inmisión de PM<sub>10</sub>, gracias al proceso de filtrado. Los hallazgos preliminares indican que la instalación de filtros eficaces en los sistemas de ventilación es una intervención potencialmente benéfica para la salud de los trabajadores.



**Figura 3. Concentración media diaria de PM10 ambiental en la estación San Juan de Lurigancho, 2021.**

Fuente: SENAHMI, (2022).

La figura 3 muestra los valores diarios de la concentración media de PM<sub>10</sub> ambiental durante 2021, de acuerdo lo reportado por la estación de monitorio permanente San Juan de Lurigancho (SENAHMI, 2022), donde se observa la tendencia creciente en los niveles de µg/m<sup>3</sup> entre enero y diciembre. Se propone investigar sobre la posible correlación del aumento de la contaminación del aire en esta zona industrial y el repunte de las actividades productivas posterior a las medidas de contención por la pandemia COVID-19 implementadas el año anterior.

La caracterización de los 70 trabajadores entrevistados, mostrada en la tabla 1, evidencia mayor presencia masculina (n=57; 84,4%), y edades jóvenes, siendo los grupos más representativos entre 18 a 29 años (n=27; 38,6%) y entre 30 y 39 años (n=21; 30%). Los hallazgos preliminares sobre los indicadores sociales relacionados con la exposición PM<sub>10</sub> interior (ECT y EDT) evidencian que el 70% de los trabajadores permanece entre 6 y 10 horas dentro de las insalaciones, y que casi la tercera parte de la fuerza laboral del complejo estudiado ha permanecido entre 1 y 5 años, lo que puede acrecentar los riesgos para el trabajador. El 82,9% de los trabajadores considere que el tema de la contaminación del aire es importante, con una proporción similar que conoce sobre el PM; por lo tanto, se entiende que dos tercios de los trabajadores Consideren que, dentro de las instalaciones de trabajo, el aire puede estar contaminado por PM, aunque sólo el 8,6% reconoce la intervención del proceso de inmisión. Los hallazgos preliminares no mostraron valores elevados de PEC.

**Tabla 1. Caracterización laboral e indicadores sociales asociados a la inmisión de material particulado**

Indicador	Pregunta	Respuesta	n = 70	%
-	Género	Femenino	13	18,6
		Masculino	57	81,4
-	Edad	18 a 29	27	38,6
		30 a 39	21	30,0
		40 a 49	13	18,6
		50 o más	9	12,9
		Menos de 1	20	28,6
ECT	¿Cuántos años ha trabajado en esta industria?	Entre 1 y 5	22	31,4
		Entre 6 y 10	17	24,3
		Más de 10	11	15,7
		Menos de 6	5	7,1
EDT	¿Qué cantidad de horas diarias trabaja en promedio dentro de las instalaciones?	Entre 6 y 10	49	70,0
		Más de 10	16	22,9
		Menos de 6	5	7,1
IAC	¿Considera que el tema de la contaminación del aire es importante?	SI	58	82,9
		NO	12	17,1
CPM	¿Sabe en qué consiste el material particulado?	SI	51	72,9
		NO	19	27,1
RIC	¿Considera que, dentro de las instalaciones de trabajo, el aire puede estar contaminado por material particulado?	SI	46	65,7
		NO	24	34,3
RIC	¿De acuerdo a su opinión, de dónde podría provenir el material particulado que contamina el aire dentro las instalaciones de trabajo?	Procesos industriales dentro del complejo	13	18,6
		Inmisión desde el ambiente exterior	6	8,6
		Ambas fuentes	28	40
		Ninguna	23	32,9
RAC	¿Considera que el material particulado que contamina el aire al interior de las instalaciones es nocivo para su salud?	SI	41	58,6
		NO	29	41,4
PEC	¿En el tiempo que ha trabajado en esta industria, ha padecido de algunos de estos síntomas?	Dificultad para respirar	15	21,4
		Tos frecuente	8	11,4
		Taquicardia	2	2,9
		Dermatitis	4	5,7
		Alteraciones de la visión	5	7,1
PEC	¿En el tiempo que ha trabajado en esta industria, ha tenido alguno de estos diagnósticos?	Enfermedades respiratorias no infecciosas	10	14,3
		Enfermedades cardiovasculares	7	10,0
		Cancer pulmonar	0	0
		Complicaciones perinatales (n=13)	0	0

### Consideraciones finales

El material particulado (PM) es uno de los contaminantes más importantes presentes en el aire, representando un riesgo medioambiental para la salud. De acuerdo a los indicadores ecológicos explorados, la concentración media de PM<sub>10</sub> en el aire exterior (CME) superó el límite de 100 µg/m<sup>3</sup> establecido por MINAM, potencialmente dañinos para la salud humana. El análisis estadístico sugiere el efecto que puede tener la inmisión de aire ambiental con material particulado como vector de la contaminación del aire interior, previo a la instalación de filtros en los sistemas de ventilación. Al considerar los valores de la concentración media diaria, obtenidos en los 15 días posteriores a la instalación de los filtros, se observó que la concentración media de PM<sub>10</sub> en el interior disminuyó en relación a la quincena anterior. Los hallazgos preliminares indican que la instalación de filtros eficaces en los sistemas de ventilación es una intervención potencialmente benéfica para la salud de los trabajadores. Se propone fomentar el desarrollo de los sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo a fin de disminuir la exposición laboral al PM.

### Conflicto de intereses

No se presentó conflicto de intereses.