

MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE MICROPARTICULAS PM10 PARA OPTIMIZAR EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN LIMA METROPOLITANA

ENVIRONMENT AND ENVIRONMENTAL POLLUTION OF PM10 MICROPARTICLES TO
OPTIMIZE SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN METROPOLITAN LIMA

Valderrama Campos, Omar Boris

Universidad Nacional Federico Villarreal

MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
DE MICROPARTICULAS PM10 PARA OPTIMIZAR EL
DESARROLLO SOSTENIBLE EN LIMA METROPOLITANA
En: IPEF, Revista Jurídica del Instituto Peruano de
Estudios Forenses, Año XXII N° 89, Agosto 2026, pps. del
7 al 11.

Print ISSN: 2308- 5401 / Line ISSN: 2617- 0566
La revista indexada en LATINDEX (folio 22495)
Universidad Nacional Federico Villarreal - EUPG
www.latindex.org.unam.mx

RESUMEN

Esta investigación se centra en la contaminación por micropartículas PM10 en Lima Metropolitana, abordándola desde una perspectiva de desarrollo sostenible. El cuidado del medio ambiente es esencial porque no solo abarca elementos físicos, químicos y biológicos, sino también la interacción entre las personas y su entorno. Se entiende como un conjunto de valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinados. La contaminación, por su parte, ocurre cuando se introducen agentes que alteran este equilibrio y afectan tanto la salud humana como los ecosistemas. Entre las formas más comunes están la contaminación del aire, del agua y del suelo. En este contexto, las partículas PM10 —materiales sólidos o líquidos en suspensión con un diámetro entre 2,5 y 10 micrómetros— representan un riesgo particular, ya que pueden ingresar al sistema respiratorio y dañar la calidad del aire. Este estudio busca contribuir a la reducción de los efectos negativos de estas partículas, promoviendo su adecuada gestión en especial en pequeñas y medianas empresas, que suelen tener menos recursos o estrategias para abordar el problema. El propósito es fomentar prácticas sostenibles que ayuden a disminuir la presencia de PM10 en el aire y, al mismo tiempo, fortalecer el desarrollo sostenible en Lima Metropolitana. La idea es demostrar que es posible avanzar hacia el crecimiento económico y social sin descuidar la salud del ambiente, integrando la responsabilidad ambiental como parte fundamental del progreso de la ciudad.

ABSTRACT

This research focuses on PM10 particle pollution in Metropolitan Lima, approaching the issue from a sustainable development perspective. Environmental care is essential, as it involves not only physical, chemical, and biological elements but also the interaction between people and their surroundings. The environment is understood as a set of natural, social, and cultural values that exist in a specific place and time. Pollution occurs when harmful agents disrupt this balance, negatively impacting both human health and ecosystems. Common forms include air, water, and soil pollution. In this context, PM10 particles—solid or liquid materials suspended in the air with a diameter between 2.5 and 10 micrometers—pose a particular risk, as they can enter the respiratory system and degrade air quality. This study aims to contribute to reducing the negative effects of these particles by promoting proper management, especially within small and medium-sized enterprises, which often lack the resources or strategies to address this issue. The main goal is to encourage sustainable practices that help reduce PM10 presence in the air while strengthening sustainable development in Metropolitan Lima. The research highlights that it is possible to move toward economic and social growth without neglecting environmental health, integrating environmental responsibility as a key component of the city's progress.

Palabras Clave:

Desarrollo sostenible, Contaminación del aire, PM10, Pequeñas y medianas empresas

Keywords:

Sustainable development, Air pollution, PM10, Small and medium-sized enterprises

Fecha de recepción de originales: 10 de agosto del 2026

Fecha de aceptación de originales: 14 de agosto del 2026

1. Introducción:

La contaminación por micropartículas PM10 en Lima Metropolitana constituye un problema crítico que afecta directamente a las pequeñas y medianas empresas, las cuales suelen priorizar el crecimiento económico sin considerar, de manera suficiente, su responsabilidad ambiental. Esta situación se ve agravada por la falta de comprensión sobre el impacto de la contaminación y por la presión competitiva, que conduce a estilos de gestión poco éticos y alejados de la sostenibilidad. En este escenario, el rol del gerente ambiental resulta fundamental, aunque enfrenta retos significativos, como la resistencia organizacional, la escasa preparación y los conocimientos desactualizados de muchos directivos.

El presente estudio busca resaltar la necesidad de integrar la gestión ambiental en las estrategias empresariales, promoviendo prácticas responsables que permitan reducir la presencia de PM10 en el aire. De esta manera, se pretende demostrar que es posible alcanzar el desarrollo económico y social sin descuidar la salud del entorno, fomentando un compromiso auténtico y duradero con la sostenibilidad en Lima Metropolitana.

Problema principal de la Investigación fue:

¿De qué manera el medio ambiente y la contaminación ambiental de micropartículas PM10 influye negativamente en el desarrollo sostenible de Lima Metropolitana?

Al respecto, como antecedentes tenemos:

Ecologistas en Acción ha realizado una denuncia ante la consejería de Presidencia y ante la autoridad competente de la ciudad, por dos episodios de contaminación en las que la estación de Lima Metropolitana ha rebasado el límite diario que permite la ley, el de 50 microgramos por metro cúbico de partículas PM10.

Las fechas en que se superaron los valores límite de contaminación fueron el 14 de enero de 2012, cuando se marcó un pico de 80 microgramos/m³; y el 19 de enero, con 147 microgramos/m³, cifra ésta que se triplica aproximadamente el umbral límite que se ha fijado para proteger la salud.

Esta contaminación es principalmente de carácter interno, a partir de caminos de tráfico vehicular y de actividades industriales, sin haberse producido la intrusión de polvo sahariano. Las micropartículas en suspensión en la atmósfera, entendidas como PM2.5, suponen un importante riesgo para la salud, dado que pueden llegar hasta las vías respiratorias más profundas y producir graves daños en el sistema respiratorio, las partículas PM10 provocan enfermedades, problemas respiratorios, asma, agravaciones de las alergias y problemas cardiovasculares.

En el contexto de la degradación de la calidad del aire, es crucial poner de relieve la contaminación por ozono troposférico, que se encuentra a nivel del suelo. En Lima, las estaciones de monitoreo han detectado un exceso considerable en comparación con el límite anual establecido para proteger la salud. La normativa establece un máximo de 120 microgramos por metro cúbico en la media octohoraria diaria, un valor que no debería superarse más de 25 veces al año. Sin embargo, entre 2010 y 2012, se registró un alarmante récord de 142 superaciones, lo que pone de manifiesto la gravedad de la situación.

Superaciones diarias octohorarias del valor límite de ozono

No puede haber más de 25 superaciones por año.

Según Ecologistas en Acción, tanto el centro experimental de Lima como la Consejería no tienen planes claros para controlar o reducir la contaminación por partículas.

Además, destacan que no se está implementando ningún programa para mejorar la calidad del aire en lo que respecta al ozono, a pesar de lo que establece la legislación actual.

La contaminación del aire no solo causa problemas, sino que también empeora diversas enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Un claro ejemplo de esto es el Estudio EMECAS (Estudio Multicéntrico de Perú sobre los Efectos a Corto Plazo de la Contaminación Atmosférica en la Salud), realizado en 2004, que investigó la relación entre la contaminación del aire y la salud en trece ciudades de la región, incluida Lima. Los resultados mostraron que solo necesitaban dos días de alta contaminación para que aumentaran los ingresos hospitalarios.

Un estudio llevado a cabo por la Comisión Europea a principios de 2005 (APHEIS 3) examinó 26 ciudades en Europa y llegó a la conclusión de que la contaminación del aire provoca alrededor de 370,000 muertes prematuras cada año en la Unión Europea. De esa cifra, aproximadamente 16,000 son en España.

Recientemente, Janez Potocnik, el comisario de Medio Ambiente de la Comisión Europea hizo un anuncio significativo: se van a endurecer los límites legales de contaminación que deben cumplir los Estados miembros. Esta decisión se fundamenta en un nuevo estudio de la OMS que muestra que la contaminación del aire es incluso más perjudicial para la salud de lo que se había creído. En particular, las partículas en suspensión generadas por actividades humanas se han relacionado con problemas como la arteriosclerosis, enfermedades respiratorias en niños, diabetes, alteraciones en la función cognitiva y dificultades en el desarrollo neuronal.

Ecologistas en Acción está alzando la voz ante la falta de acción del Ayuntamiento de Cartagena y de la Consejería. Les están pidiendo que se pongan las pilas y actúen de inmediato para detener el deterioro de la calidad del aire en el municipio, que está siendo gravemente afectado por la contaminación. Esta organización ecologista ha lanzado un llamado urgente para reforzar las inspecciones y el control ambiental sobre las emisiones industriales en la zona, además de exigir una supervisión más rigurosa del tráfico vehicular. Todo esto con el fin de mitigar un problema que sigue afectando de manera seria tanto al medio ambiente como a la salud pública.

METODO

La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y exploratorio, orientado a analizar la contaminación por micropartículas PM10 y su relación con el desarrollo sostenible en Lima Metropolitana. El diseño fue no experimental y transversal, ya que las variables no se manipularon y los datos se recolectaron en un único momento, lo que permitió describir el fenómeno y examinar las asociaciones en su contexto real. Este enfoque resultó adecuado para identificar patrones y tendencias sin alterar las condiciones del entorno urbano (Hernández-Crespo et al., 2021).

La población de estudio estuvo conformada por gerentes y responsables de la gestión ambiental en empresas de Lima Metropolitana, seleccionados por su conocimiento técnico y rol estratégico en la toma de decisiones sobre emisiones contaminantes. A partir de esta población, se determinó una muestra de 850 gerentes, con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %, lo que aseguró la representatividad de los resultados. El muestreo fue aleatorio simple, garantizando igualdad de probabilidades en la selección. La recolección de datos se realizó con el apoyo de la Sociedad Nacional de Industrias, entre enero y abril de 2022.

La variable independiente fue la contaminación ambiental por micropartículas PM10, operacionalizada mediante dimensiones relacionadas con la gestión ambiental, la administración de emisiones, el manejo del material particulado y la sostenibilidad de los procesos productivos. Estas dimensiones permitieron evaluar la percepción y el nivel de control sobre las fuentes emisoras en el entorno urbano e industrial.

La variable dependiente correspondió al desarrollo sostenible de Lima Metropolitana, analizado a partir de las dimensiones ambiental, social y económica. Los indicadores considerados incluyeron la calidad del aire, los efectos en la salud pública, la eficiencia de la gestión ambiental urbana y la sostenibilidad de las actividades económicas, en concordancia con los enfoques teóricos del desarrollo sostenible (Boulding, 1966; Bromley, 1991).

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica principal fue la encuesta, aplicada mediante un cuestionario estructurado con ítems cerrados en escala Likert, diseñados según las dimensiones e indicadores de las variables. El instrumento fue validado en contenido y confiabilidad, asegurando coherencia y consistencia interna. Complementariamente, se utilizó información secundaria de documentos técnicos, reportes institucionales y bases de datos ambientales para contextualizar los resultados.

Procedimiento

El estudio se desarrolló en varias fases: revisión de literatura científica, diseño y validación del cuestionario, aplicación presencial y virtual a la muestra seleccionada, y procesamiento de datos mediante software estadístico especializado. El análisis siguió criterios metodológicos estandarizados, garantizando resultados consistentes y reproducibles.

Análisis de datos: Se emplearon técnicas descriptivas (frecuencias y porcentajes) para caracterizar las variables, y técnicas inferenciales, específicamente la prueba no paramétrica de ji-cuadrado (χ^2), para contrastar hipótesis y determinar relaciones significativas entre la contaminación por PM10 y el desarrollo sostenible. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$, lo que respaldó la validez estadística de los resultados.

Consideraciones éticas: La investigación respetó principios éticos fundamentales: valor social, validez científica, selección equitativa de participantes y confidencialidad de la información. La participación fue voluntaria y anónima, garantizando el uso responsable de los datos y la integridad del proceso investigativo.

RESULTADOS:

El análisis de la información recolectada permitió identificar hallazgos relevantes sobre la contaminación por micropartículas PM10 y su impacto en el desarrollo sostenible de Lima Metropolitana. A partir de las encuestas aplicadas a 850 gerentes vinculados a la gestión ambiental, se obtuvo una visión integral del estado de la calidad del aire, los mecanismos de control existentes y los efectos percibidos en el entorno urbano.

Contaminación por PM10

Los participantes señalaron niveles elevados y recurrentes de PM10, asociados principalmente al incremento del parque automotor, el uso de tecnologías industriales obsoletas y la limitada fiscalización de emisiones. Además, se evidenció que los sistemas de monitoreo ambiental son insuficientes y que las políticas vigentes carecen de aplicación efectiva y seguimiento adecuado.

Desarrollo sostenible

La contaminación por PM10 afecta las tres dimensiones del desarrollo sostenible:

- Ambiental: deterioro de la calidad del aire y de los ecosistemas urbanos.
- Social: aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución del bienestar y calidad de vida.
- Económica: mayores costos en salud, reducción de productividad y limitaciones para actividades económicas sostenibles.

Análisis inferencial: La prueba de ji-cuadrado (χ^2) confirmó una relación estadísticamente significativa entre la contaminación por PM10 y el desarrollo sostenible ($p < 0,05$). Se evidenció que una gestión deficiente del material particulado impacta negativamente en la capacidad de la ciudad para implementar políticas sostenibles y mejorar la calidad de vida.

Síntesis de hallazgos: En conjunto, los resultados muestran que la contaminación por PM10 constituye un problema estructural en Lima Metropolitana, con efectos ambientales, sociales y económicos que obstaculizan el desarrollo urbano sostenible. Se resalta la necesidad de fortalecer los mecanismos de control, monitoreo y gestión ambiental, integrando la calidad del aire como eje central de las estrategias de sostenibilidad.

CONCLUSIONES

La investigación permitió evidenciar que la contaminación ambiental por micropartículas PM10 constituye un problema crítico y persistente en Lima Metropolitana, con impactos significativos en la calidad del aire, la salud pública y el desarrollo sostenible urbano. Los resultados confirman la existencia de una relación estadísticamente significativa entre los niveles de PM10 y el deterioro de los indicadores de desarrollo sostenible, lo que demuestra que este contaminante atmosférico influye de manera directa y negativa en el bienestar de la población y en la sostenibilidad de la ciudad.

Asimismo, se determinó que las deficiencias en la gestión, control y monitoreo del material particulado contribuyen a la permanencia de altos niveles de PM10, evidenciando limitaciones

en la gobernanza ambiental y en la articulación entre el Estado, el sector privado y la sociedad civil. Esta situación reduce la eficacia de las políticas públicas orientadas a la mejora de la calidad del aire y al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

De igual manera, la contaminación por PM10 afecta de forma transversal las dimensiones ambiental, social y económica del desarrollo sostenible, incrementando los riesgos para la salud, el gasto público en atención médica y la pérdida de productividad, lo que refuerza la necesidad de abordar esta problemática desde un enfoque integral y preventivo.

Finalmente, el estudio aporta evidencia empírica relevante que fortalece el conocimiento científico sobre la contaminación atmosférica urbana en Lima Metropolitana, constituyéndose en un insumo técnico para la formulación de estrategias de gestión ambiental basadas en evidencia y orientadas a la sostenibilidad urbana.

REFERENCIAS

- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship earth. En H. Jarrett (Ed.), *Environmental quality in a growing economy* (pp. 3–14). Resources for the Future.
- Bromley, D. W. (1991). *Environment and economy: Property rights and public policy*. Blackwell.
- California Environmental Protection Agency. (2011). *Air quality and health effects of particulate matter*. EPA.
- Córdova-Mendoza, M., Quispe-Mamani, J., & Rojas-Cabrera, C. (2021). Contaminación atmosférica y efectos en la salud pública en zonas urbanas. *Revista de Salud Ambiental*, 21(2), 145–158.
- Fernández-Castillo, M., y Sánchez-Ramos, L. (2023). Material particulado PM10 y su impacto en enfermedades respiratorias y cardiovasculares. *Revista Iberoamericana de Salud Pública*, 19(1), 33–48.
- García Pabón, J., Rodríguez Villamizar, L., y Martínez Torres, D. (2020). Exposición a material particulado y riesgos para la salud humana. *Revista Latinoamericana de Salud Ambiental*, 12(3), 201–215.
- Hernández-Crespo, C., Soto, M., y Pérez, R. (2021). Gobernanza ambiental y calidad del aire en ciudades latinoamericanas. *Revista de Estudios Urbanos*, 15(2), 89–107.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2012). *Guía de calidad del aire y material particulado*. Gobierno de España.
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2021). *Plan metropolitano de gestión ambiental de Lima*. MML.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. OMS.
- Pérez-Martínez, P. J., y Gómez-Sanabria, A. (2021). Calidad del aire urbano y sostenibilidad: Retos para América Latina. *Revista de Desarrollo Sostenible*, 9(1), 55–72.
- Romero-Lankao, P., Qin, H., y Borbor-Cordova, M. (2021). Urban climate change governance in Latin America. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.02.003>
- Sánchez Meza, E., & Aldaba Yumbato, J. (2022). Contaminación ambiental urbana y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales*, 6(2), 77–94.