

Análisis de la contaminación por metales pesados desde la perspectiva teórica

Analysis of heavy metal pollution from a theoretical perspective

Juan Jacobo Leño Sanabria*
Universidad Técnica de Oruro
Oruro - Bolivia
jleanosanabria@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-1343-3482>

*Correspondencia:
jleanosanabria@gmail.com

Cómo citar este artículo:
Leño, J. (2025). Análisis de la contaminación por metales pesados desde la perspectiva teórica. *Esprint Investigación*, 4(4), 111-120. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i4.190>

Recibido: 2 de septiembre de 2025
Aceptado: 7 de octubre de 2025
Publicado: 18 de noviembre de 2025

Resumen: La contaminación ambiental por metales pesados constituye una amenaza global significativa para la salud humana y los ecosistemas, agravada por la rápida urbanización e industrialización. Este estudio presenta un análisis bibliométrico y una revisión sistemática de la literatura científica (1973 – 2025), con el propósito de identificar las principales tendencias, metodologías de evaluación de riesgos y contaminantes prioritarios en este campo. Los resultados del análisis evidencian un predominio de investigaciones enfocadas en la contaminación del suelo y el riesgo eco-toxicológico, destacando el cadmio como el contaminante más crítico en diversas regiones del mundo. Las metodologías de evaluación más utilizadas se basan en índices de contaminación, como el Índice de Geoacumulación y el Factor de contaminación. Entre las principales fuentes identificadas se encuentran los residuos sólidos urbanos, las actividades mineras, los efluentes industriales y agrícolas, así como la contaminación derivada del tráfico. La revisión enfatiza la necesidad de implementar enfoques de gestión del riesgo más uniformes e integrados, especialmente en zonas de conflicto y áreas agrícolas de alta importancia.

Palabras clave: Contaminación ambiental, metales pesados, riesgos, ecosistemas.

Abstract: Environmental pollution by heavy metals represents a significant global threat to human health and ecosystems, exacerbated by rapid urbanization and industrialization. This study presents a bibliometric and systematic review of the scientific literature (1973–2025) aimed at identifying the main trends, risk assessment methodologies, and priority contaminants in this field. The results reveal a predominance of research focused on soil contamination and ecotoxicological risk, highlighting cadmium as the most critical contaminant in various regions of the world. The most widely used assessment methodologies are based on pollution indices, such as the Geoaccumulation Index and the Contamination Factor. The primary sources identified include urban solid waste, mining activities, industrial and agricultural effluents, as well as pollution derived from traffic emissions. The review emphasizes the need to implement more uniform and integrated risk management approaches, particularly in conflict zones and agriculturally significant areas.

Keywords: Ecosystems, environmental pollution, heavy metals, risks.

Copyright: Derechos de autor 2025 Juan Jacobo Leño Sanabria.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0.

1. Introducción

La presencia de metales pesados en el medio ambiente, como el plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y arsénico (As), es una preocupación central en la salud ambiental a nivel mundial. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados son elementos no biodegradables que persisten en los compartimentos ambientales (suelo, agua, sedimento) y se bioacumulan a través de la cadena trófica, representando un riesgo toxicológico directo para los organismos vivos y, en última instancia, para la salud humana.

La intensificación de las actividades antropogénicas a lo largo del último siglo impulsada por la industrialización, la minería a gran escala, la agricultura intensiva y el crecimiento urbano ha provocado una liberación acelerada de estos contaminantes, superando en muchos casos los niveles de fondo geoquímico natural. Por ejemplo, en áreas costeras y estuarinas, el rápido desarrollo urbano e industrial genera una transferencia masiva de contaminantes a los ecosistemas marinos a través de los sistemas fluviales, como se observa en la Bahía de Hangzhou, China (Li et al., 2020), y en el oeste de la Bahía de Bengala, India (Nagarajan et al., 2024).

El impacto de esta contaminación se manifiesta en diversos escenarios:

Contaminación del suelo agrícola: La exposición del suelo a fertilizantes, aguas residuales municipales y efluentes industriales puede provocar la acumulación de metales en cultivos básicos como el arroz, poniendo en peligro la seguridad alimentaria, como se ha documentado en Nanning, China (Zhang et al., 2025), y en las granjas de Ahvaz, Irán (Mansouri Moghadam et al., 2024).

Riesgos ecotoxicológicos e hídricos: La descarga de residuos mineros y lixiviados de vertederos contamina gravemente las fuentes de agua superficial y subterránea, como ocurre en el Noroeste de Rumanía, donde la generación de drenaje ácido de roca (ARD) moviliza (Pb), (Zn), (Cd), (Cu), (Ni) y (As) (Modoi et al., 2014).

Impactos por conflictos: Las actividades militares y la guerra también emergen como fuentes significativas de contaminación del suelo por metales pesados, como se ha estudiado en Ucrania (Yashchenko et al., 2025).

Bioindicación y salud urbana: El estudio de organismos como las abejas (Husseini et al., 2024) y las plantas urbanas (Alabadi et al., 2024) permite monitorear la exposición a la contaminación generada por el tráfico y otros focos urbanos, utilizándolos como bioindicadores eficaces de la salud ambiental.

Esta investigación tiene como objetivo examinar el alcance del aporte científico generado por distintos países e instituciones en torno a las variables: contaminación ambiental y metales pesados, se aplica un análisis bibliométrico utilizando las herramientas VOSviewer y R-bibliometrix. Para realizar el presente análisis, utilizó la base de datos Scopus. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en estudios sobre contaminación por metales pesados, ecotoxicología y gestión ambiental, permitiendo identificar tendencias globales, autores más influyentes y áreas prioritarias de investigación (Donthu et al., 2021; Sweileh, 2020; Li et al., 2023).

2. Metodología

Para alcanzar los objetivos, la investigación propone un enfoque que combina una revisión de literatura con un análisis bibliométrico relacionado sobre la contaminación ambiental y metales pesados a partir de la base de datos de Scopus. Este enfoque permite cumplir con el rigor académico de la estructura solicitada, focalizando la síntesis de resultados en los documentos de mayor relevancia.

Esta perspectiva hizo posible evaluar la producción de investigaciones, resumir los hallazgos más significativos y calcular la repercusión de las publicaciones en la propagación del conocimiento a través de bibliométricas, integrando enfoques tanto cuantitativos como cualitativos para examinar las tendencias de publicación y el contenido, así como para identificar los avances temáticos más destacados.

La recopilación de información se llevó a cabo en la base de datos Scopus, utilizando una cadena de búsqueda y aplicando criterios de inclusión enfocados en la pertinencia para la contaminación ambiental y metales pesados. Se tomaron en cuenta artículos publicados desde 1973 hasta el 2024 que incluyeran las palabras “*environmental pollution*” y “*heavy metals*” (Tabla 1). Para realizar el análisis, se utilizó el software R-Bibliometrix que facilitó la identificación de los registros más representativos de la unidad de análisis y el cálculo de los indicadores bibliométricos adecuados.

Tabla 1

Criterios de búsqueda de artículos en la base de Scopus

Criterios de búsqueda	
Base de datos:	Scopus
Idioma:	Inglés
Periodo de análisis:	1973-2025
Fecha de consulta:	Septiembre 30, 2025
Tipos de documentos:	Artículos científicos
Tipo de revista:	Cualquier tipo
Campo de búsqueda	Título
Términos de búsqueda:	Environmental pollution y Heavy metals
Resultado total:	129
Parámetro de análisis	
Unidad de análisis:	Indicador bibliométrico comportamiento de la producción en periodo de análisis
Producción científica:	Análisis
Revistas:	Mayor número de publicaciones
Autores:	Los más relevantes e importantes
Países y coautores:	Mayor número de publicaciones y colaboraciones
Tema central y sus relaciones:	Interacción con otras variables

Además, se utilizaron herramientas como VOSViewer y técnicas de mapeo bibliométrico para visualizar redes de investigación y grupos temáticos. Los hallazgos se organizaron con el objetivo de presentar la evolución de los distintos ámbitos de investigación, ofreciendo una visión clara de la trayectoria del campo y de las posibles líneas de desarrollo futuras. En la Tabla 2, se presentan los artículos del corpus que utilizan consistentemente un conjunto de herramientas estandarizadas (Li et al., 2020; Mansouri Moghadam et al., 2024; Omran, 2016).

Tabla 2

Herramientas de evaluación de contaminación identificadas

Herramienta	Acrónimo	Propósito	Aplicaciones en el corpus
Factor de Contaminación	CF	Mide el grado de contaminación de un solo metal en relación con el valor de fondo.	Ahvaz, Irán (Mansouri Moghadam et al., 2024); Bahía de Bengala (Nagarajan et al., 2024).
Índice de Geoacumulación	Igeo	Mide la contaminación comparando la concentración con los valores preindustriales (fondo).	Ahvaz, Irán (Mansouri Moghadam et al., 2024); Bahr El Baqar, Egipto (Omran, 2016).
Índice de Carga de Contaminación	PLI	Mide la contaminación general del sitio, calculando la raíz n-ésima del producto de los CF.	Bahía de Hangzhou (Li et al., 2020).
Índice de Riesgo Ecológico Potencial	PERI	Mide el riesgo ecológico considerando tanto la concentración como la toxicidad inherente de cada metal.	Bahía de Hangzhou (Li et al., 2020).
Cociente de Peligro	Cuartel general	Evalúa el riesgo para la salud humana por exposición no carcinogénica.	Bahía de Hangzhou (Li et al., 2020).
Técnicas multivariantes	Pearson, PCA/Clúster	Identificación de la fuente y asociación entre metales.	Bahr El Baqar, Egipto (Omran, 2016); Bahía de Bengala (Nagarajan et al., 2024).

3. Resultados

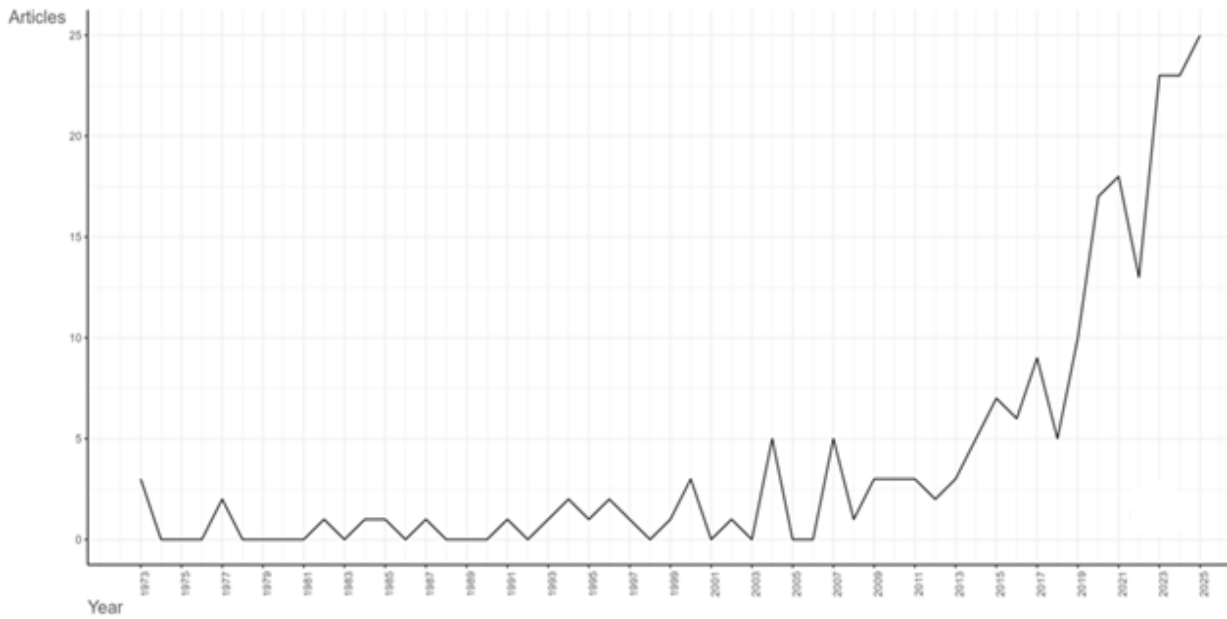
El análisis consolida dos grandes categorías de contaminación, la contaminación química persistente (metales pesados), se confirma la ubicuidad de Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, As, Mn, Co y Fe como los principales metales de preocupación en suelos, aguas, sedimentos y biota y la contaminación aguda por hidrocarburos (derrame de petróleo), el estudio coreano introduce un contaminante diferente (petróleo crudo) y, crucialmente, cambia el foco de la matriz analizada: de muestras ambientales/biológicas a percepciones y testimonios humanos. Utiliza la minería de textos de entrevistas para analizar el "daño discriminatorio".

En la Figura 1 se muestra la producción científica sobre contaminación ambiental y metales pesados. La producción científica en este ámbito se inicia de 1973 al 2003 con un promedio de 2 artículos, el año 2003 al 2007 llega a 5 artículos, del año 2008 al 2025 hay un crecimiento ascendente llegando a un máximo de 25 artículos.

Las revistas con mayor número de artículos publicados son “*Chemosphere*” y “*Environmental Science and Pollution Research*”, con ocho artículos, “*Environmental Monitoring and Assessment*” con siete artículos, “*Marine Pollution Bulletin*” con cinco artículos, otras revistas presentan entre tres y cuatro publicaciones. La Figura 2 refleja este comportamiento y la distribución de la producción científica, destacando que la concentración de artículos en estas revistas se explica por su especialización en la temática de estudio.

Figura 1

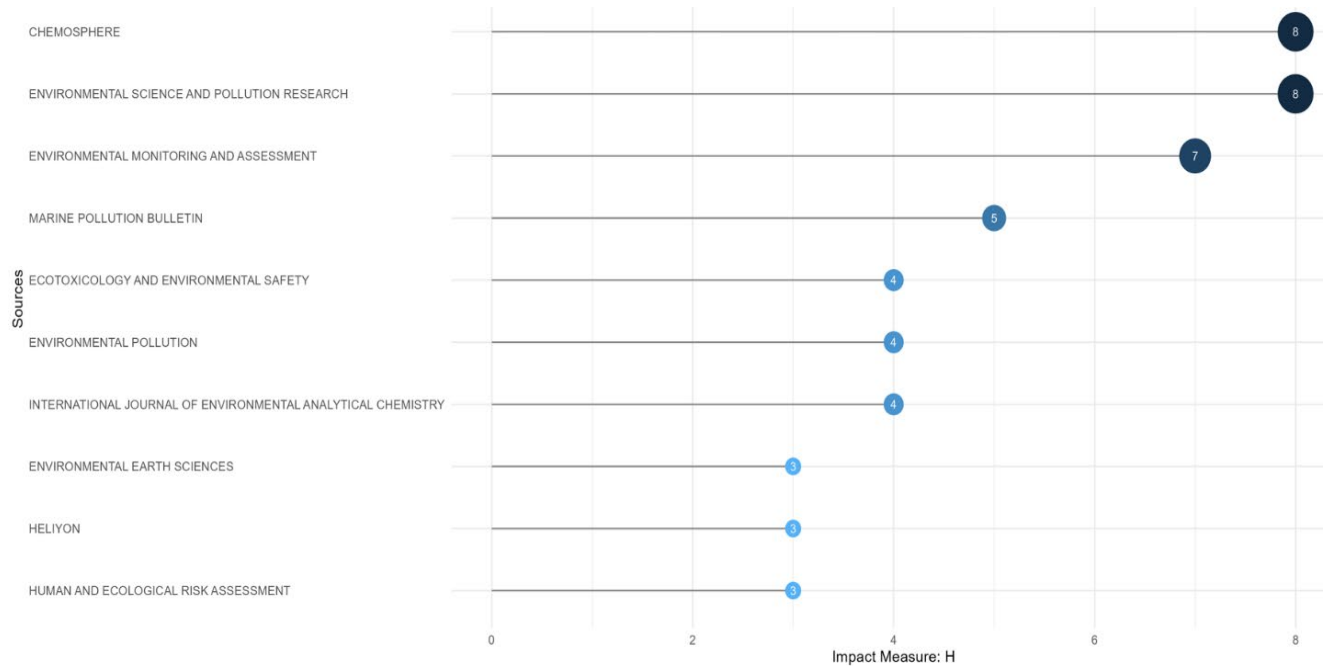
Producción científica anual



Nota. Elaboración propia en base a datos Scopus (2025).

Figura 2

Revistas con mayor publicación

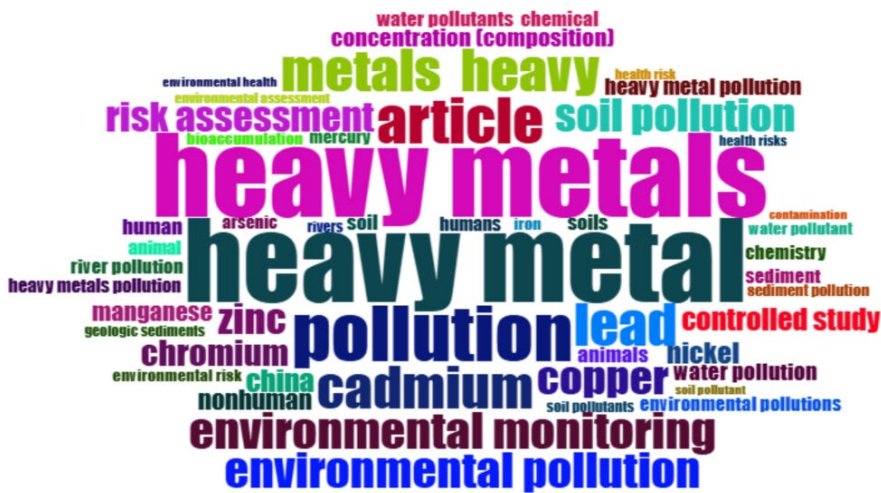


Nota. Elaboración propia en base a datos Scopus (2025).

La Figura 3 presenta la nube de palabras clave, aquí destacan las palabras o frases con mayor frecuencia, tanto en cantidad como en relevancia. Los estudios se centran en “heavy metals” (metales pesados), “pollution” (contaminación), “cadmium” (cadmio), destacando la interrelación entre estos tópicos como los ejes centrales de la investigación.

Figura 3

Temas con mayor publicación



Las palabras clave asociadas a "Risk Assessment" (Evaluación de Riesgos), "Human Health" (Salud Humana) y "Ecological Risk" (Riesgo Ecológico) forman un clúster central, confirmando que la mayoría de la investigación actual está impulsada por la evaluación de los impactos y no solo por la medición de concentraciones.

Fuentes y países de origen de la investigación

La revisión del corpus reveló que la investigación se distribuye ampliamente, cubriendo China (Li et al., 2020; Zhang et al., 2025), Egipto (Omran, 2016), Polonia (Gworek et al., 2016), Iraq (Alabadi et al., 2024; Hussein et al., 2024), Rumanía (Modoi et al., 2014), Ucrania (Yashchenko et al., 2025), India (Nagarajan et al., 2024) e Irán (Mansouri Moghadam et al., 2024). Europa presenta un foco en riesgos específicos como la minería (Modoi et al., 2014) y el impacto de conflictos bélicos (Yashchenko et al., 2025).

Contaminación del suelo y sedimentos

Los análisis realizados en Bahr El Baqar (Omran, 2016), Ahvaz (Mansouri Moghadam et al., 2024) y la Bahía de Hangzhou (Li et al., 2020) demuestran que las concentraciones de metales pesados superan los valores estándar establecidos. En cuanto a la identificación de fuentes, en Ahvaz se atribuye la elevada contaminación por cadmio (Cd) y zinc (Zn) en los campos de trigo a la acumulación derivada del uso de fertilizantes agrícolas y a las actividades industriales y humanas (Mansouri Moghadam et al., 2024). Respecto a la contaminación histórica, el estudio de los sedimentos del núcleo de la Bahía de Bengala revela un incremento en las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en las capas superiores, lo que indica una deposición intensificada durante las últimas décadas (Nagarajan et al., 2024).

Riesgo en la cadena alimentaria y la salud humana

El riesgo más urgente se asocia a la transferencia de metales pesados MP del suelo a los cultivos. En Nanning, China, se encontró que el (Cd) contaminaba moderadamente el arroz (Zhang et al., 2025). La evaluación del riesgo para la salud humana Cociente de riesgo no cancerígeno (HQ) y Cociente de riesgo cancerígeno (CR) en la Bahía de Hangzhou demostró que los riesgos carcinogénicos (especialmente por (Cd) y (As) contribuyen de manera significativa al riesgo general (Li et al., 2020).

Contaminación del agua y bioindicadores

Lixiviados y Minería: Los desechos mineros en el noroeste de Rumanía causan contaminación por (Pb), (Zn), (Cd), (Cu), (Ni) y (As) en las aguas subterráneas, creando un riesgo ambiental elevado (Modoi et al., 2014). De igual forma, los vertederos de residuos sólidos municipales, como el de Lubna en Polonia, son fuentes potenciales de lixiviación (Gworek et al., 2016).

Bioindicadores: Los estudios con abejas en el norte de Iraq confirmaron que el polen recolectado acumula altos niveles de MP, utilizándolas como herramientas de biomonitorio efectivas (Hussein et al., 2024). De manera similar, la acumulación en plantas urbanas se utiliza para evaluar la polución relacionada con el tráfico en ciudades (Alabadi et al., 2024).

Contaminación en contextos de conflicto

El estudio en Ucrania introduce la contaminación por metales pesados en suelos afectados por la guerra. Las actividades militares liberan (Cd), (Cr), (Pb), (Cu), (Ni), (Mn) y (Zn) en el suelo, lo cual es fundamental para la remediación de posguerra (Yashchenko et al., 2025).

En la Tabla 3 se presentan los 5 artículos más citados, elaborada a partir de los datos obtenidos de la base de datos Scopus, donde se identifican tanto los autores como los estudios con mayor número de citas, los cuales constituyen las contribuciones más relevantes e influyentes dentro del campo de investigación.

Tabla 3

Lista de artículos más citados (Base Scopus, 2025)

Orden	Autores	Título del artículo	Año	Número de citas
1	Farkas et al. (2007)	Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po.	2007	288
2	Zhang et al. (2011)	Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods.	2011	249
3	Malik y Zeb (2009)	Assessment of environmental contamination using feathers of <i>Bubulcus ibis</i> L. As a biomonitor of heavy metal pollution Pakistan.	2009	145
4	Förstner y Müller (1973)	Heavy metal accumulation in river sediments: A response to environmental pollution.	1973	129
5	Simsek et al. (2000)	The effect of environmental pollution on the heavy metal content of raw milk.	2000	116

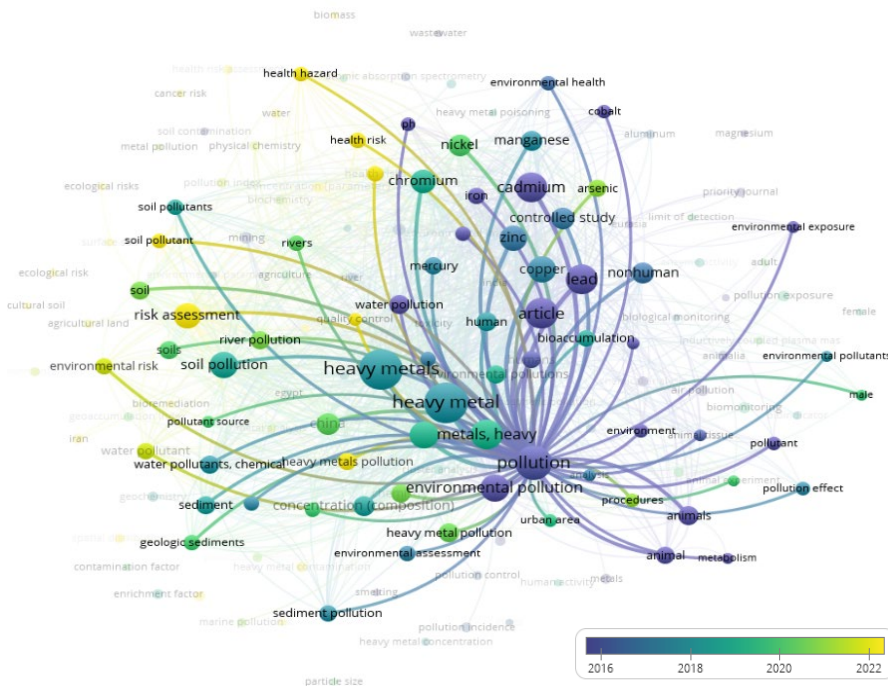
Nota. Elaboración propia con base en Scopus (2025).

Relación con otras temáticas (VOSviewer)

En la Figura 4 se presentan las palabras clave y sus interrelaciones, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis bibliométrico realizado mediante la herramienta VOSviewer, lo que permite visualizar las conexiones temáticas y tendencias de investigación dentro del campo estudiado.

Figura 4

Palabras clave y relación con otras temáticas



Nota. Elaboración propia en base datos de Scopus y VOSviewer (2025).

Se observa que la variable “contaminación” presenta una tendencia sostenida y vínculos con diversas temáticas desde antes del año 2016, consolidándose como un eje central de investigación en el campo ambiental. Entre 2016 y 2020, la contaminación se asocia principalmente con la presencia de metales pesados y su impacto en el medio ambiente. En las tendencias más recientes (a partir de 2022), el enfoque se amplía hacia temas como el riesgo para la salud, la contaminación del suelo y del agua, la evaluación de riesgos y la presencia de elementos minerales, entre otras líneas de investigación que reflejan la evolución y diversificación del interés científico en torno a esta problemática.

4. Conclusiones

El análisis de la documentación científica comprendida entre 2014 y 2025 evidencia que la contaminación por metales pesados constituye un problema ambiental complejo, con un marcado predominio de la contaminación del suelo y una alta incidencia del cadmio (Cd), cuya presencia en cultivos de consumo masivo representa un riesgo directo para la salud humana. La metodología bibliométrica aplicada revela una tendencia consolidada al uso de índices multivariados de contaminación como el Índice de Geoacumulación (Igeo), el Factor de Contaminación (CF) y el Índice de Contaminación (PLI), para determinar el grado y origen de la polución, vinculándola principalmente a fuentes antropogénicas asociadas a la industrialización y la minería.

En este contexto, los futuros esfuerzos de investigación y formulación de políticas deberían orientarse a: (1) desarrollar protocolos de muestreo y remediación específicos para suelos afectados por eventos extremos o contextos de conflicto; (2) fortalecer el monitoreo de puntos críticos de transferencia y promover el uso de bioindicadores, como plantas y abejas, para la detección temprana de contaminación en el aire y el suelo urbano; y (3) establecer políticas de gestión de residuos y prácticas agrícolas sostenibles que limiten el ingreso de cadmio (Cd) y otros metales tóxicos en la cadena trófica.

5. Referencias

- Alabadi, L. A. S., Alawsy, W. S. A., & AL-jibury, D. A. (2024). Assessing Heavy Metal Accumulation in Urban Plants: Implications for Environmental Health and Traffic-Related Pollution in Al-Diwaniyah City, Iraq. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23(3), 1605-1611. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i03.030>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Farkas, A., Erratico, C., & Viganò, L. (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere*, 68(4), 761-768. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.12.099>
- Förstner, U., & Müller, G. (1973). Heavy metal accumulation in river sediments: a response to environmental pollution. *Geoforum*, 4(2), 53-61. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(73\)90006-7](https://doi.org/10.1016/0016-7185(73)90006-7)
- Gworek, B., Dmuchowski, W., Koda, E., Marecka, M., Baczewska, A. H., Bragoszewska, P., Siczka, A., & Osiński, P. (2016). Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals. *Water*, 8(10), 472. <https://doi.org/10.3390/w8100470>
- Hussein, M. A., Ayoub, Z. N., & Hessen, B. A. (2024). Bees as Bioindicators of Environmental Pollution with Heavy Metals. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22(2), 3307-3313. <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00243>
- Li, R., Yuan, Y., Li, C., Sun, W., Yang, M., & Wang, X. (2020). Environmental Health and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metal Pollution in the Coastal Cities of Estuarine Bay – A Case Study of Hangzhou Bay, China. *Toxics*, 8(3), 76. <https://doi.org/10.3390/toxics8030075>
- Mansouri Moghadam, S., Payandeh, K., Koushafar, A., Goosheh, M., & Mohammadi Rouzbahani, M. (2024). Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. *Scientific Reports*, 14(1), 12797. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64192-4>
- Malik, R. N., & Zeb, N. (2009). Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. *Ecotoxicology*, 18(5), 522-536. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0310-9>
- Modoi, O.-C., Roba, C., Török, Z., & Ozunu, A. (2014). Environmental risks due to heavy metal pollution of water resulted from mining wastes in NW Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(9), 2325-2336. <https://www.eemj.eu/index.php/EEMJ/article/view/2068>
- Nagarajan, A., Dharmalingam, S. N., Jeyasingh, V., Jayaseelan, C., & Vijayaprabhakaran, K. (2024). Heavy metals in core sediments from the western Bay of Bengal: implications on historical pollution, eco-environmental risks, and potential sources. *Anthropocene Coasts*, 7(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s44218-024-00056-8>
- Omran, E.-S. E. (2016). Environmental modelling of heavy metals using pollution indices and multivariate techniques in the soils of Bahr El Baqar, Egypt. *Modeling Earth Systems Environment*, 2(1), 119. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0178-7>
- Simsek, O., Gültekin, R., Öksüz, O., & Kurultay, S. (2000). The effect of environmental pollution on the heavy metal content of raw milk. *Food/Nahrung*, 44(5), 360-363. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20001001\)44:5%3C360::AID-FOOD360%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20001001)44:5%3C360::AID-FOOD360%3E3.0.CO;2-G)

- Sweileh, W. M. (2020). Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on climate change and human health with an emphasis on infectious diseases. *Global Health*, 16(44), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00576-1>
- Yashchenko, L., Androshchuk, O., Vasylenko, L., & Chornoivan, Y. (2025). Environmental risks of heavy metal pollution in war-affected soils in Ukraine. *European Journal of Environmental Sciences*, 15(1), 18-27. <https://doi.org/10.14712/23361964.2025.3>
- Zhang, J., Li, P., Li, S., & Lyu, Z. (2025). Assessment of environmental impacts of heavy metal pollution in rice in Nanning, China. *Scientific Reports*, 15(1), 3027. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84989-7>

Transparencia

Conflicto de interés

El autor declara que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

El autor financia completamente la investigación.

Contribución de autoría

Juan Jacobo Leño Sanabria: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

El autor contribuye activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.