







La responsabilidad limitada en la disposición de los hidrocarburos o desechos peligrosos en espacios urbanos

Limited liability in the disposal of hydrocarbons or hazardous waste in urban spaces

Javier Amador, Navarro Veliz  ; David, Ramos Piñas ; Jefrin Marlon, Silva Murillo ; Nelfa Estrella, Ayuque Almidon ; Franco Jesús, Torres Ruiz 

Universidad Peruana Los Andes; Huancayo, Junin, Perú.

Resumen

La urbanización global ha intensificado la generación de desechos peligrosos e hidrocarburos, lo que representa una amenaza creciente para la salud pública y los ecosistemas urbanos, especialmente en países en desarrollo. En Perú, aunque existe un marco legal robusto que establece la responsabilidad integral del generador y prohíbe la disposición inadecuada de estos residuos, su aplicación efectiva enfrenta obstáculos. Una de las principales tensiones radica en la doble interpretación de la “responsabilidad limitada”: mientras que desde el derecho ambiental la responsabilidad es continua e intransferible, en el ámbito mercantil las Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL) no comprometen el patrimonio personal de sus socios. Esta dualidad, sumada a la limitada fiscalización, la escasa infraestructura municipal y la débil coordinación entre el MINAM, OEFA y los gobiernos locales, genera vacíos en la aplicación de sanciones y debilita la rendición de cuentas. Este estudio, de enfoque analítico-descriptivo y diseño documental comparativo, analizó leyes peruanas y 18 estudios científicos recientes. Los hallazgos se organizaron en cinco clústeres temáticos: problemática urbana, contaminación por hidrocarburos, gestión y reciclaje, soluciones sostenibles y limitaciones jurídicas. El análisis reveló una brecha crítica entre la normativa y su implementación. La “Problemática Hidrocarburos” mostró una relación causal directa; la “Problemática Gestión”, una relación estructural funcional; la “Gestión Soluciones”, una respuesta adaptativa; y las “Limitaciones Jurídicas”, una relación transversal de máxima influencia. Se concluye que es urgente fortalecer la supervisión, clarificar competencias y mejorar la infraestructura para lograr una gestión sostenible de residuos peligrosos en entornos urbanos.

Palabras claves: residuos peligrosos, urbanización, responsabilidad jurídica, contaminación del medio urbano, gestión ambiental.

Abstract

Global urbanization has intensified the generation of hazardous waste and hydrocarbons, posing a growing threat to public health and urban ecosystems, particularly in developing countries. In Peru, despite a robust legal framework that establishes the comprehensive responsibility of the generator and prohibits the improper disposal of these wastes, its effective application faces obstacles. One of the main tensions lies in the dual interpretation of “limited liability”: while environmental law dictates continuous and non-transferable responsibility, in the commercial sphere, Limited Liability Companies (SRLs) do not compromise the personal assets of their partners. This duality, coupled with limited oversight, scarce municipal infrastructure, and weak coordination among MINAM, OEFA, and local governments, creates gaps in the application of sanctions and weakens accountability. This study, employing an analytical-descriptive approach and a comparative documentary design, analyzed Peruvian laws and 18 recent scientific studies. The findings were organized into five thematic clusters: urban problematic, hydrocarbon contamination, management and recycling, sustainable solutions, and legal limitations. The analysis revealed a critical gap between regulations and their implementation. “Hydrocarbon Problematic” showed a direct causal relationship; “Management Problematic,” a structural-functional relationship; “Management Solutions,” an adaptive response; and “Legal Limitations,” a transversal relationship of maximum influence. It is concluded that it is urgent to strengthen oversight, clarify competencies, and improve infrastructure to achieve sustainable hazardous waste management in urban environments.

Keywords: hazardous waste, urbanization, legal responsibility, urban environmental pollution, environmental management.

Recibido/Received	21-04-2025	Aprobado/Approved	03-07-2025	Publicado/Published	04-07-2025
-------------------	------------	-------------------	------------	---------------------	------------

Introducción

El vertiginoso avance de la urbanización global, si bien cataliza el desarrollo económico y social, también conlleva una complejización inherente de los desafíos ambientales, particularmente en lo que respecta a la disposición de desechos peligrosos e hidrocarburos. Las ciudades, epicentros de la actividad industrial y comercial, son simultáneamente focos de generación de residuos que, por su naturaleza tóxica y persistente, representan una amenaza latente y creciente para la salud pública y la integridad de los ecosistemas (Kumar et al., 2024; Rahman et al., 2024). Esta problemática se acentúa en países en desarrollo, donde la infraestructura de gestión y las capacidades de fiscalización a menudo no logran seguir el ritmo de la generación de estos materiales, creando un escenario propicio para la proliferación de la contaminación.

En el contexto peruano, la gestión de estos residuos críticos se enmarca en un robusto entramado jurídico diseñado para salvaguardar el ambiente y el bienestar de sus ciudadanos. La Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) establece un pilar fundamental al consagrar el principio de responsabilidad ambiental, sentando las bases para que los actores que generen impactos, respondan por ellos (Congreso de la República del Perú, 2005). Complementariamente, la Ley de Residuos Sólidos (Ley N.º 27314) y su reglamento desarrollan las obligaciones específicas para el manejo diferenciado de los residuos peligrosos, categorizándolos y definiendo sus rutas de tratamiento y disposición final (Congreso de la República del Perú, 2000). En el ámbito de los combustibles, la Ley Orgánica de Hidrocarburos (Ley N.º 26221) y, de manera crucial, la Ley de Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos (Ley N.º 29134), imponen responsabilidades inequívocas a las empresas que operan en este sector (Congreso de la República del Perú, 1993, 2007). Estas responsabilidades no solo abarcan la prevención de la contaminación, sino también la remediación de sitios contaminados preexistentes, un aspecto vital dada la persistencia de los contaminantes derivados de los hidrocarburos (Hoang et al., 2021).

A esta situación, es sumada a las debilidades institucionales preexistentes y a la falta de coordinación efectiva entre entidades clave como el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y los gobiernos locales, puede derivar en vacíos significativos en la aplicación efectiva de sanciones y en la dilución de la rendición de cuentas (MINAM, 2020; OEFA, 2022; Mombeni et al., 2023).

Sin embargo, a pesar de este andamiaje legal, la realidad en las zonas urbanas peruanas presenta notables discrepancias. La disposición inadecuada de hidrocarburos usados, solventes, metales pesados y un sinnúmero de otros residuos peligrosos continúa siendo una fuente significativa de riesgo. La normativa es clara al prohibir expresamente su abandono en espacios públicos sensibles como parques, playas, vías urbanas o cuerpos de agua, reconociendo el impacto directo que estos materiales pueden tener en la calidad del agua (Caliani et al., 2022; Jałowiecki et al., 2024), el suelo (Miao et al., 2022) y el aire. No obstante, la efectividad de estas prohibiciones se ve constantemente desafiada por múltiples factores. Entre ellos, destaca la limitada fiscalización ambiental en áreas de alta densidad poblacional, un cuello de botella que permite que prácticas ilegales o negligentes pasen desapercibidas. Además, un obstáculo estructural significativo es la carencia de infraestructura adecuada en muchas municipalidades para el almacenamiento, tratamiento seguro y disposición final de estos residuos, lo que impulsa a menudo a generadores pequeños y medianos a optar por vías informales y peligrosas (Fang et al., 2024).

La complejidad de la situación se amplifica al examinar la noción de “responsabilidad limitada”, un concepto que, en este contexto, admite una doble interpretación y que es el eje central de la presente investigación. Desde una perspectiva legal ambiental, el principio subyacente es que la responsabilidad del generador del residuo es integral y no se extingue, incluso cuando la gestión de dicho residuo se delega a terceros autorizados. Esto implica que la empresa o individuo que produjo el desecho mantiene un compromiso continuo con su destino final y cualquier daño que pueda causar. Sin embargo, en el ámbito empresarial, las compañías constituidas como Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL) operan bajo una premisa fundamental del derecho mercantil: sus socios no comprometen

su patrimonio personal ante las deudas u obligaciones de la empresa. Si bien la SRL debe responder como una persona jurídica ante cualquier daño ambiental (Dos Reis et al., 2025), esta dualidad entre la responsabilidad ambiental "integral" y la responsabilidad mercantil "limitada" puede generar una zona gris. Esta ambigüedad, sumada a las debilidades institucionales preexistentes y a la falta de coordinación efectiva entre entidades clave como el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y los gobiernos locales, puede derivar en vacíos significativos en la aplicación efectiva de sanciones y en la dilución de la rendición de cuentas.

Es imperativo reconocer que la disposición inadecuada de residuos peligrosos no solo implica costos directos de remediación, sino también impactos indirectos y acumulativos en la salud humana, manifestados en riesgos asociados a la exposición a sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) (Baqar et al., 2024), PBDE y DP (Mahmood et al., 2020), y otros tóxicos liberados en procesos de reciclaje o quema informal (Jung et al., 2022; Lee et al., 2022). La urgencia de abordar estos desafíos ha impulsado la investigación y el desarrollo de estrategias innovadoras de biorremediación (Jain et al., 2021; Singh et al., 2022; Sarker et al., 2020), la valorización de residuos para producir materiales como carbón activado (Patil et al., 2025) o biocarbón (Sonsuphab et al., 2024), y el diseño de nanosorbentes multifuncionales (Rahman et al., 2024). Sin embargo, estas soluciones tecnológicas deben ir de la mano con marcos regulatorios y de responsabilidad claros y aplicables.

Para un análisis académico más profundo, resulta crucial explorar cómo se distribuyen las competencias y responsabilidades entre los distintos niveles de gobierno (nacional, regional y local) en la gestión de residuos peligrosos e hidrocarburos en zonas urbanas. Es vital identificar qué indicadores robustos podrían emplearse para evaluar la eficacia de las políticas públicas existentes, permitiendo una medición objetiva de su impacto real y la identificación de áreas de mejora. Además, el presente estudio se propone examinar cómo las limitaciones estructurales y normativas intrínsecas del sistema afectan la implementación práctica de la responsabilidad ambiental. Esto incluye la investigación de barreras económicas, técnicas y de capacidad institucional que dificultan que la "responsabilidad integral" se materialice plenamente, especialmente cuando se enfrenta a la "responsabilidad limitada" de las estructuras corporativas. Al abordar estas cuestiones, el artículo busca contribuir a la formulación de políticas más coherentes y efectivas, que fomenten una gestión de residuos más sostenible y protejan de manera más eficaz la vida y el ambiente en los crecientes espacios urbanos.

Materiales y métodos

Este estudio adopta un enfoque analítico-descriptivo, orientado a examinar las interrelaciones entre el marco jurídico de la responsabilidad limitada y la gestión ambiental de hidrocarburos y desechos peligrosos en contextos urbanos. Se emplea un diseño documental y comparativo, que permite integrar fuentes normativas, científicas y técnicas para construir una visión sistémica del problema.

Técnicas de recolección de información

La información se obtuvo mediante las siguientes estrategias:

Revisión documental: Se analizaron leyes, reglamentos y guías técnicas relevantes del contexto peruano, incluyendo la Ley Orgánica de Hidrocarburos (Ley N.º 26221), la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611), y documentos técnicos del MINAM y OEFA.

Análisis bibliográfico: Se seleccionaron 18 estudios científicos recientes (2020–2025) sobre contaminación por hidrocarburos, residuos peligrosos, reciclaje informal, y soluciones sostenibles, con énfasis en contextos urbanos de países en desarrollo.

Codificación temática: Se organizaron los hallazgos en cinco clústeres temáticos: (1) problemática general urbana, (2) contaminación por hidrocarburos, (3) gestión y reciclaje, (4) soluciones sostenibles, y (5) limitaciones jurídicas.

Procedimiento de análisis

Se aplicó un enfoque de análisis de contenido temático, complementado con una matriz de relaciones interclúster que permitió identificar:

1. Relaciones causales y funcionales entre los factores ambientales, tecnológicos y normativos.
2. Intersecciones críticas donde la responsabilidad limitada actúa como barrera o condicionante.
3. Oportunidades para la integración de soluciones sostenibles dentro del marco legal vigente.

Además, se diseñó una red conceptual jerarquizada y una tabla de ponderación de relaciones para visualizar la estructura sistémica del problema y sus implicaciones regulatorias.

Criterios de validez

Para garantizar la validez del análisis, se aplicaron los siguientes criterios:

Triangulación de fuentes: Se contrastaron datos normativos, científicos y técnicos.

Pertinencia contextual: Se priorizó información del contexto peruano y de países con condiciones urbanas similares.

Actualización bibliográfica: Se seleccionaron estudios publicados entre 2020 y 2025.

Resultados

Los hallazgos revelan que, a pesar de un robusto marco legal ambiental en Perú, compuesto por la Ley General del Ambiente, la Ley de Residuos Sólidos y las leyes específicas para hidrocarburos; la aplicación efectiva de la responsabilidad ilimitada del generador de residuos peligrosos enfrenta desafíos significativos en los espacios urbanos. Identificamos en la red conceptual (Figura 1) una brecha crítica entre la teoría legal y la práctica, donde la noción mercantil de responsabilidad limitada de las Sociedades de Responsabilidad Limitada (SRL) puede diluir la rendición de cuentas. Esta dualidad, combinada con una fiscalización ambiental limitada en áreas densamente pobladas y la infraestructura inadecuada de los gobiernos locales para el manejo de estos residuos (Kumar et al., 2024; Rahman et al., 2024; Hoang et al., 2021), facilita la disposición informal e irresponsable de materiales tóxicos. La falta de coordinación efectiva entre entidades como el MINAM, OEFA y las municipalidades exacerba esta problemática, permitiendo que los impactos negativos en la salud humana y los ecosistemas urbanos persistan (Baqar et al., 2024; Mahmood et al., 2020).

Es perentorio fortalecer los mecanismos de supervisión y sanción, así como de desarrollar indicadores de eficacia claros para las políticas públicas en esta área. Si bien existen soluciones tecnológicas prometedoras como la biorremediación y la valorización de residuos (Jain et al., 2021; Patil et al., 2025; Sonsuphab et al., 2024), su adopción masiva está supeditada a un marco de responsabilidad y gestión más riguroso. Es crucial que las limitaciones estructurales y normativas que actualmente obstaculizan la implementación de la responsabilidad ambiental sean abordadas mediante una mayor inversión en infraestructura y una clarificación de competencias entre los diferentes niveles de gobierno. Solo así se podrá transitar hacia una gestión de residuos peligrosos verdaderamente sostenible que mitigue los riesgos en nuestras ciudades (Bhardwaj et al., 2025; Wijaya et al., 2025).

La articulación de clústeres temáticos, permitió la identificación de cuatro tipos de relaciones clave: **causal directa, estructural funcional, respuesta adaptativa y relación transversal**. La ponderación de estas relaciones (Tabla 1) refleja su influencia dentro del sistema de gestión de residuos peligrosos e hidrocarburos en entornos urbanos. Se observó que la "Problemática Hidrocarburos" ejerce una causal directa y de máxima importancia (ponderación 5), ya que la problemática general de la disposición inadecuada crea las condiciones propicias para la contaminación específica por hidrocarburos. Paralelamente, la "Problemática Gestión" se identificó con una relación estructural funcional de alta

importancia (ponderación 4), indicando que las deficiencias en infraestructura y fiscalización son un factor determinante en la ineficacia de la gestión de residuos, afectando su desempeño sistémico.

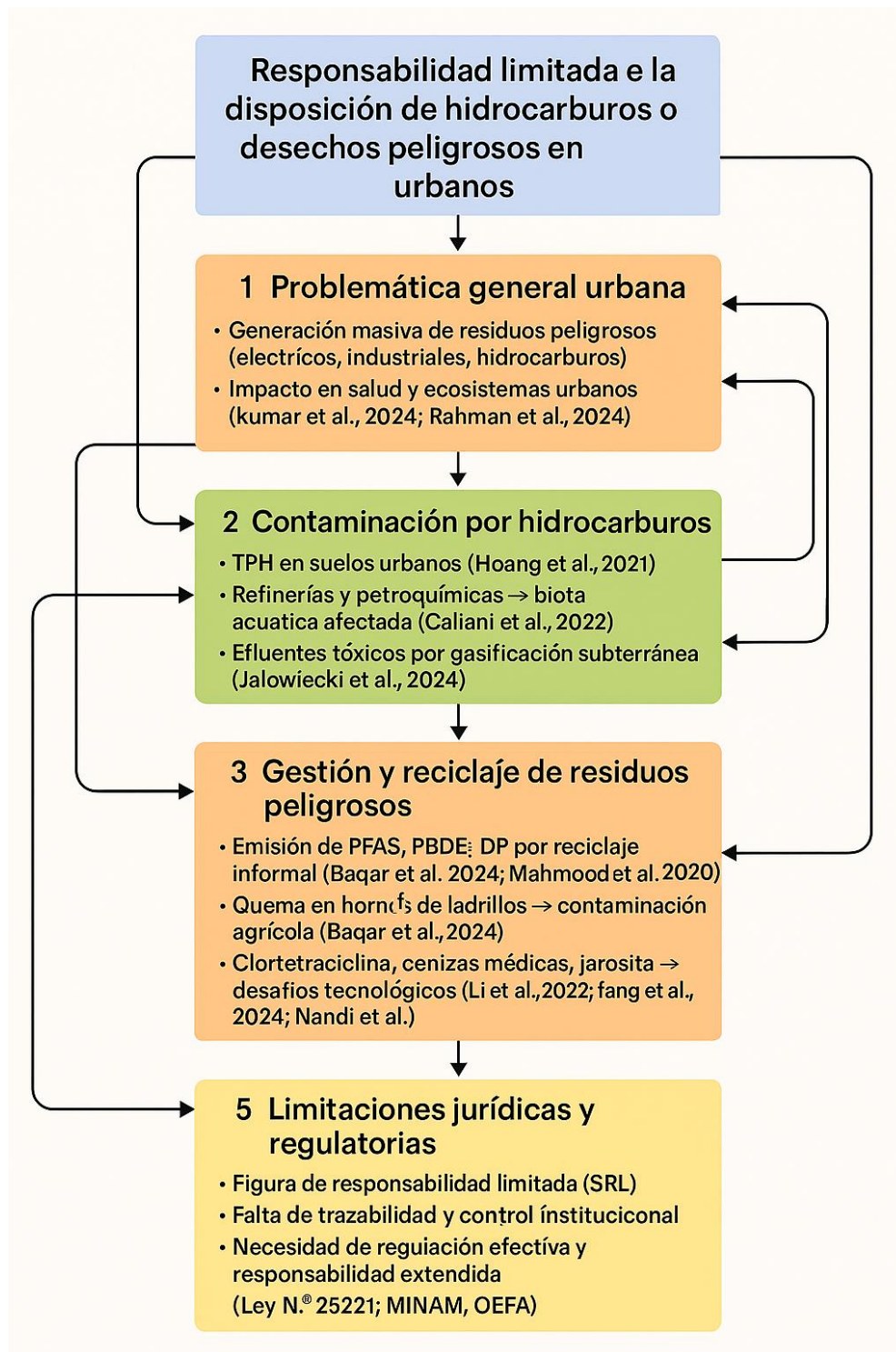


Figura 1. Red Conceptual: Responsabilidad limitada en la disposición de hidrocarburos o desechos peligrosos en espacios urbanos

Por otro lado, la categoría "Gestión Soluciones" se presenta como una respuesta adaptativa (ponderación 4), lo que impulsa al desarrollo y la implementación de soluciones sostenibles, como la biorremediación o el reciclaje, surgen directamente como una reacción necesaria a los desafíos previamente identificados en la gestión de residuos. Finalmente, un hallazgo crítico es la "Relación

Jurídica (Todos)", clasificada como una relación transversal de máxima importancia (ponderación 5). Esto significa que las limitaciones y ambigüedades en el marco legal y la responsabilidad (especialmente la limitada) no se restringen a un solo aspecto, sino que permean y afectan simultáneamente todas las dimensiones del sistema, desde la prevención de la contaminación hasta las fases de remediación y sanción. Esta transversalidad legal es un factor sistémico que inhibe la efectividad general de las estrategias de disposición y control en los espacios urbanos.

Tabla 1. Ponderación, importancia y tipo de relación entre clústeres

Relación entre Clústeres	Ponderación (1–5)	Tipo de relación	Importancia atribuida
Problemática Hidrocarburos	5	Causal directa	La problemática general genera condiciones para la contaminación por hidrocarburos.
Problemática Gestión	4	Estructural funcional	La falta de infraestructura y control deriva en una gestión deficiente de residuos.
Gestión Soluciones	4	Respuesta adaptativa	Las soluciones sostenibles emergen como respuesta a los desafíos de gestión.
Jurídico Todos	5	Relación transversal	Las limitaciones legales afectan todos los niveles de acción, desde la prevención hasta la remediación.

Discusión

El manejo inadecuado de desechos peligrosos en espacios urbanos representa una amenaza creciente para la salud humana y los ecosistemas, especialmente en países en desarrollo. La generación masiva de residuos eléctricos, industriales y derivados de hidrocarburos ha intensificado los riesgos ambientales, debido a la liberación de sustancias tóxicas como metales pesados, compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos y contaminantes orgánicos persistentes (Kumar et al., 2024; Rahman et al., 2024). Esta problemática se agrava por la falta de infraestructura adecuada, la débil fiscalización ambiental y la limitada responsabilidad efectiva de los generadores de residuos, lo que plantea interrogantes sobre la eficacia de los marcos regulatorios existentes.

En particular, los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), derivados del crudo, constituyen una fuente crítica de contaminación en suelos urbanos, requiriendo estrategias de mitigación específicas (Hoang et al., 2021). Las industrias petroquímicas y las refinerías son responsables de la descarga de sustancias químicas peligrosas en cuerpos de agua urbanos, afectando la biota acuática y reduciendo la disponibilidad de oxígeno (Caliani et al., 2022). Además, procesos como la gasificación subterránea de carbón generan efluentes con compuestos altamente tóxicos, lo que refuerza la necesidad de una gestión rigurosa en contextos urbanos (Jałowiecki et al., 2024).

La gestión de residuos peligrosos también enfrenta desafíos en el reciclaje y disposición de residuos electrónicos, farmacéuticos y médicos. Las prácticas informales de reciclaje en regiones urbanas del sur de Asia han sido identificadas como fuentes de emisión de sustancias como PFAS, PBDE y DP, con efectos adversos sobre la salud pública (Baqar et al., 2024; Mahmood et al., 2020). Asimismo, la quema de residuos industriales en hornos de ladrillos y la acumulación de residuos plásticos electrónicos liberan retardantes de llama bromados, considerados contaminantes orgánicos persistentes (Ramírez Restrepo et al., 2024). Otros residuos, como la clortetraciclina o las cenizas volantes de incineración médica, requieren tecnologías de reciclaje y degradación microbológica que aún están en desarrollo (Li et al., 2022; Fang et al., 2024).

Frente a esta realidad, emergen soluciones sostenibles que buscan integrar la responsabilidad ambiental con la innovación tecnológica. La biorremediación, el uso de consorcios microbianos y la aplicación de materiales lignocelulósicos renovables han demostrado ser eficaces en la depuración de aguas contaminadas con hidrocarburos (Jain et al., 2021; Bhardwaj et al., 2025; Singh et al., 2022). Además, tecnologías como la pirólisis de plásticos, la remediación con biocarbón y el uso de

nanocatalizadores verdes ofrecen alternativas viables para la gestión de residuos urbanos (Joo et al., 2021; Sonsuphab et al., 2024; Dalei et al., 2024). Incluso materiales accesibles como esponjas de alginato modificadas han mostrado eficiencia en la absorción de derrames de petróleo, lo que refuerza la viabilidad de soluciones de bajo costo en entornos urbanos (Wijaya et al., 2025).

Finalmente, la incorporación de residuos peligrosos en materiales de construcción, como el uso de jarosita en adoquines, representa un enfoque circular que puede contribuir al desarrollo urbano sostenible (Nandi et al., 2024). No obstante, para que estas soluciones sean efectivas, es indispensable fortalecer los marcos regulatorios, garantizar la trazabilidad de los residuos y exigir una responsabilidad ambiental más allá de la figura jurídica de “responsabilidad limitada”. Solo así se podrá avanzar hacia una gestión integral y sostenible de los desechos peligrosos en las ciudades.

Consideraciones finales

La persistencia de una dicotomía fundamental entre el marco legal ambiental peruano, que postula una responsabilidad integral para los generadores de desechos peligrosos e hidrocarburos, y la realidad práctica de la responsabilidad limitada en el ámbito empresarial, es una brecha, que se manifiesta en una fiscalización deficiente y una infraestructura inadecuada en las áreas urbanas, lo que compromete la efectiva protección de la salud pública y el medio ambiente. La falta de una coordinación robusta entre los distintos niveles de gobierno agrava aún más esta situación, permitiendo que los impactos negativos de la contaminación se perpetúen.

Es imperativo reconocer que las soluciones tecnológicas existentes, desde la biorremediación hasta el desarrollo de nuevos materiales absorbentes, ofrecen vías prometedoras para la gestión de estos residuos. Sin embargo, la adopción y el éxito a gran escala de estas innovaciones dependen críticamente de un marco regulatorio fortalecido y de una voluntad política que asegure la rendición de cuentas. Abordar las limitaciones estructurales y normativas requiere una inversión estratégica en infraestructura y una clarificación inequívoca de las competencias y obligaciones de cada actor involucrado.

En definitiva, la transición hacia una gestión de residuos peligrosos verdaderamente sostenible en las ciudades peruanas exige superar la interpretación restrictiva de la responsabilidad. La redefinición y el reforzamiento de los mecanismos de cumplimiento son cruciales para asegurar que las responsabilidades legales se traduzcan en acciones concretas que mitiguen los riesgos ambientales y promuevan un desarrollo urbano más seguro y resiliente para las futuras generaciones.

Agradecimientos

A los integrantes participantes en este estudio.

Conflicto de intereses

No se reporta.

Referencias

- Baqar, M., Saleem, R., Zhao, M., Zhao, L., Cheng, Z., Chen, H., Yao, Y., & Sun, H. (2024). Combustion of high caloric industrial waste in conventional brick kilns: An emerging source of PFAS emissions in agricultural soils. *Science of The Total Environment*, 906, 167612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167612>
- Bhardwaj, A., Bansal, M., Garima, Wilson, K., Gupta, S., & Dhanawat, M. (2025). Lignocellulosic biosorbents: Unleashing potential for sustainable environmental cleanup. *International Journal of Biological Macromolecules*, 294, 139497. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.114878>
- Caliani, I., De Marco, G., Cappello, T., Giannetto, A., Mancini, G., Ancora, S., Maisano, M., Parrino, V., Cappello, S., Bianchi, N., Oliva, S., Luciano, A., Mauceri, A., Leonzio, C., & Fasulo, S. (2022).

- Evaluation of the effectiveness of a new technology for petroleum-contaminated wastewater treatment by BioFilm membrane bioreactor through the application of biomarkers on the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic Toxicology*, 243, 106059. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.106059>
- Congreso de la República del Perú. (1993). *Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N.º 26221*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/3711f7a3-b77b-4ff9-9709-199cbc4f5715/Hidrocarburos+y+Medio+Ambiente.pdf?MOD=AJPERES>
- Congreso de la República del Perú. (2000). *Ley de Residuos Sólidos, Ley N.º 27314*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/29147-ley-n-27314>
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley General del Ambiente, Ley N.º 28611*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28611.pdf>
- Congreso de la República del Perú. (2007). *Ley de Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos, Ley N.º 29134*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/Ley-29134.pdf>
- Dalei, G., Jena, M., Jena, D., Kaur, N., Prasad, M. S. S., Sahu, A., Das, B. R., & Das, S. (2024). Alginate-PVA hydrogel integrated with green NiO nanoparticles: Potent nanocatalyst for efficient reduction of anthropogenic water pollutants. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 47(9), 1515-1531. <https://doi.org/10.1007/s00449-024-03046-9>
- Dos Reis, S. A., Dos Santos, D. V., Zagui, G. S., Paschoalato, C. F. P. R., Neri, C. R., Martin, M. T., Novo, H. S., Mazzeo, D. E. C., Marin-Morales, M. A., Nadal, M., Sierra, J., Domingo, J. L., & Segura-Muñoz, S. I. (2025). Chemical characterization and phytotoxicity assay of Novolac phenolic foam resin from health services: Challenging environmental responsibility. *Science of The Total Environment*, 966, 178717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178717>
- Fang, X., Zhang, G., Zhang, X., He, S., Xu, W., Zhang, X., & Zhong, S. (2024). Utilization of medical waste incineration fly ash resources to activate peroxydisulfate for tetracycline degradation: Synergy between adsorption and PDS activation. *Environmental Research*, 258, 119488. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119488>
- Hoang, S. A., Sarkar, B., Seshadri, B., Lamb, D., Wijesekara, H., Vithanage, M., Liyanage, C., Kolivabandara, P. A., Rinklebe, J., Lam, S. S., Vinu, A., Wang, H., Kirkham, M. B., & Bolan, N. S. (2021). Mitigation of hazardous petroleum hydrocarbon contaminated soils using organic amendments: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125702. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125702>
- Jain, M., Khan, S. A., Sharma, K., Jadhao, P. R., Pant, K. K., Ziora, Z. M., & Blaskovich, M. A. T. (2021). Current perspective of innovative strategies for bioremediation of wastewater organic pollutants. *Bioresource Technology*, 344(Part B), 126305. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126305>
- Jałowicki, Ł., Strugała-Wilczek, A., Ponikiewska, K., Borgulat, J., Płaza, G., & Stańczyk, K. (2024). Constructed wetland as green remediation technology for underground coal gasification process wastewater treatment. *PLoS ONE*, 19(3), e0300485. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300485>
- Joo, J., Lee, S., Choi, H., Lin, K. A., & Lee, J. (2021). Recycling of single-use disposable waste by a thermochemical conversion pathway. *Polymers*, 13(16), 2617. <https://doi.org/10.3390/polym13162617>
- Jung, J. M., Cho, S. H., Jung, S., Lin, K. A., Chen, W. H., Tsang, Y. F., & Kwon, E. E. (2022). Removal of plastic mulching films by CO₂ assisted catalytic pyrolysis as strategic means for microplastic mitigation. *Journal of Hazardous Materials*, 430, 128454. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128454>
- Kumar, P., Singh, S., Gacem, A., Yadav, K. K., Bhutto, J. K., Alreshidi, M. A., Kumar, M., Kumar, A., Yadav, V. K., Soni, S., Kumar, R., Qasim, T., Tariq, M., & Alam, M. W. (2024). A review on electronic waste

- contamination, its toxicity, and sustainable cleanup approaches for its management. *Toxicology*, 508, 153904. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153904>
- Lee, T., Jung, S., Baek, K., Tsang, Y. F., Lin, K. A., Jeon, Y. J., & Kwon, E. E. (2022). Functional use of CO₂ to mitigate bisphenol A formation in catalytic pyrolysis of polycarbonate. *Journal of Hazardous Materials*, 423(Pt A), 126992. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126992>
- Li, Y., Chen, H., Wang, Y., Yang, Z., & Zhang, H. (2022). Efficient biodegradation of high concentration chlortetracycline from strongly acidic pharmaceutical waste with degrading fungi. *Journal of Hazardous Materials*, 424(Pt D), 127671. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127671>
- Mahmood, A., Hussain Syed, J., Raza, W., Tabinda, A. B., Mehmood, A., Li, J., Zhang, G., & Azam, M. (2020). Human health risk assessment based on dietary intake and spatial distribution pattern of polybrominated diphenyl ethers and Dechlorane Plus in selected cities of Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9543. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249543>
- Miao, X., Kumar, R. R., Shen, Q., Wang, Z., Zhao, Q., Singh, J., Paul, S., Wang, W., & Shang, X. (2022). Phytoremediation of co-contaminated cadmium and polychlorinated biphenyls soils using ornamental plant *Tagetes patula* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108(1), 129-135. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03392-4>
- Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2020). *Guía técnica para la gestión de residuos peligrosos*. <https://www.minam.gob.pe/residuos-solidos/guia-tecnica-residuos-peligrosos/>
- Nandi, S., Naga, G. R. R., & Sahdeo, S. K. (2024). Utilization of wollastonite, jarosite and their mixtures for sustainable development of concrete paver block mixes containing reclaimed asphalt pavement aggregates. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(13), 20048-20072. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32338-6>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2022). *Informe anual de fiscalización ambiental 2021*. <https://www.oefa.gob.pe/informes-anuales/>
- Patil, S. S., Kisiela-Czajka, A. M., & Dasari, H. P. (2025). From non-renewable waste to activated carbon: A smart step towards sustainable development and environmental protection in a circular economy. *Waste Management*, 203, 114878. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114878>
- Rahman, M. M., Maniruzzaman, M., Gafur, M. A., Al-Ahmary, K. M., Shawabkeh, A., Alsharif, A., Naznin, S., & Al-Otaibi, J. S. (2024). Fabrication of chitosan coated bentonite clay multifunctional nanosorbents from residual biomass for effective hazardous pollutants removal from water bodies: Fixed-bed biosorption study, mechanism, and mathematical modeling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282(Pt 6), 137439. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137439>
- Ramírez Restrepo, A., López Niño, B. N., Camelo Martínez, E., & Ramírez García, C. (2024). Chromoproducers approach to achieve environmentally sound management of plastic wastes from electronic devices: Colombian project case. *Waste Management*, 179, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.02.049>
- Sarker, R. K., Chakraborty, P., Paul, P., Chatterjee, A., & Tribedi, P. (2020). Degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Enterobacter cloacae* AKS7: A potential step towards sustainable environmental remediation. *Archives of Microbiology*, 202(8), 2117-2125. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01926-8>
- Singh, P., Kadam, V., & Patil, Y. (2022). Isolation and development of a microbial consortium for treatment of automobile service station wastewater. *Journal of Applied Microbiology*, 132(2), 1048-1061. <https://doi.org/10.1111/jam.15257>

Sonsuphab, K., Toomsan, W., Soontharo, S., Supanchaiyamat, N., Hunt, A. J., Ngernyen, Y., Nasompag, S., Kiattisaksiri, P., Ratpukdi, P., & Siripattanakul-Ratpukdi, S. (2024). Integrated remediation and detoxification of triclocarban contaminated water using waste-derived biochar immobilized cells by long-term column experiments. *Environmental Pollution*, 357, 124456. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124456>

Wijaya, R., Cheng, K. C., Santoso, S. P., Lin, S. P., Putro, J. N., Lie, J., Hsieh, C. W., Hsu, H. Y., Go, A. W., & Angkawijaya, A. E. (2025). Surface modification of an alginate sponge using tannic acid and dodecanethiol for diesel oil spill separation from water. *International Journal of Biological Macromolecules*, 317(Pt 2), 144453. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144453>