



Design of industrial protection systems in environments with high concentration of contaminants

Diseño de sistemas de protección industrial en ambientes con alta concentración de contaminantes

Para citar este trabajo:

Muñoz Fuentes, A. A. , Chinga Ramos, J. T. ., Moreira Ramos, D. E. M. R., Vélez Zambrano, E. J. ., & Jácome Alarcón, L. F. . (2025). Diseño de sistemas de protección industrial en ambientes con alta concentración de contaminantes. *Multidisciplinary Journal of Sciences, Discoveries, and Society*, 2(5), 1-12.
https://estrellaediciones.com/index.php/sciences_discoveries_and_society/article/view/312

Autores:

Alisson Ariana Muñoz Fuentes

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

amunozf2@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-7431-2771>

Johanna Tanya Chinga Ramos

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

jchingar@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-4682-2814>

David Eduardo Moreira Ramos

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

dmoreirar@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-1630-8173>

Evelyn Jorleny Vélez Zambrano

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

evelezz2@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-1483-3245>

Luis Fernando Jácome Alarcón

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo - Ecuador

ljacomea@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1553-7591>

Autor de Correspondencia: Alisson Ariana Muñoz Fuentes, amunozf2@uteq.edu.ec

RECIBIDO: 09-Agosto-2025 **ACEPTADO:** 23-Agosto-2025 **PUBLICADO:** 06-Septiembre-2025



Resumen

Esta investigación propone un sistema teórico de protección industrial para mitigar riesgos asociados con contaminantes como dioxinas, metales pesados y compuestos orgánicos volátiles en entornos industriales de alta contaminación. Mediante una revisión bibliográfica sistemática, se identificaron los impactos de estos contaminantes en la salud ocupacional (enfermedades crónicas como cáncer y trastornos neurológicos) y el medioambiente (degradación de ecosistemas y recursos hídricos). La metodología, basada en un diseño documental, analizó fuentes científicas y normativas internacionales (OSHA 1910.134, ISO 45001) y locales (Ley 7/2022) para desarrollar un sistema que integra la jerarquía de controles de seguridad. Los resultados destacan la baja eficiencia de los sistemas actuales (ventilación, filtros HEPA, carbón activado) y proponen tecnologías innovadoras, como membranas nano filtrantes, junto con estrategias administrativas, como capacitación del personal, para garantizar viabilidad y sostenibilidad. El sistema propuesto ofrece adaptabilidad a contaminantes emergentes y cumplimiento normativo, con aplicaciones en industrias como la minería en Ecuador. La ausencia de pruebas experimentales es una limitación, sugiriendo pruebas piloto futuras. Este marco teórico promueve soluciones integrales para mejorar la seguridad ocupacional y proteger el medioambiente en contextos industriales desafiantes.

Palabras clave: Contaminantes industriales; sistemas de protección; seguridad ocupacional; sostenibilidad ambiental; minería.

Abstract

This research proposes a theoretical industrial protection system to mitigate risks associated with contaminants such as dioxins, heavy metals, and volatile organic compounds in highly polluted industrial environments. Through a systematic literature review, the impacts of these contaminants on occupational health (chronic diseases like cancer and neurological disorders) and the environment (ecosystem and water resource degradation) were identified. The methodology, based on a documentary design, analyzed scientific sources and international (OSHA 1910.134, ISO 45001) and local (Ley 7/2022) regulations to develop a system integrating the hierarchy of safety controls. The results highlight the low efficiency of current systems (ventilation, HEPA filters, activated carbon) and propose innovative technologies, such as nanofiltration membranes, alongside administrative strategies like personnel training to ensure feasibility and sustainability. The proposed system offers adaptability to emerging contaminants and regulatory compliance, with applications in industries like mining in Ecuador. The lack of experimental validation is a limitation, suggesting future pilot tests. This theoretical framework promotes comprehensive solutions to enhance occupational safety and protect the environment in challenging industrial settings.

Keywords: Industrial contaminants; protection systems; occupational safety; environmental sustainability; mining.



1. Introducción

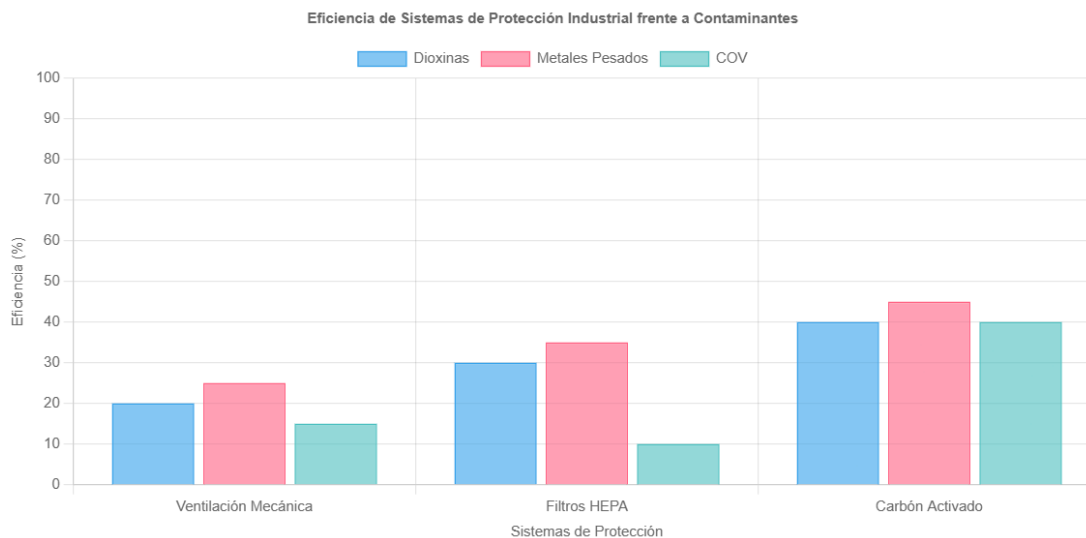
Los ambientes industriales con alta concentración de contaminantes representan un desafío crítico para la seguridad ocupacional y la sostenibilidad ambiental. La emisión de compuestos orgánicos persistentes (COP), como las dioxinas, metales pesados, material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y aguas residuales industriales, genera riesgos significativos para la salud humana y los ecosistemas (Ávila-Muñiz et al., 2025a). Las dioxinas, por ejemplo, son altamente estables, bioacumulables y están asociadas con efectos crónicos como carcinogenicidad, mutagenicidad y alteraciones endocrinas. Asimismo, los metales pesados, como el plomo y el cadmio, y los hidrocarburos derivados del petróleo se acumulan en suelos y aguas, magnificando sus efectos tóxicos a lo largo de la cadena trófica (Medina et al., 2024; Olivero Verbel & Tejada Benítez, 2016). Estos contaminantes contribuyen a enfermedades respiratorias, cardiovasculares, neurológicas y cáncer, afectando particularmente a trabajadores expuestos crónicamente y comunidades cercanas (Bravo-Orellana et al., 2024).

A pesar de la existencia de normativas internacionales, como las establecidas por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA 1910.134) e ISO 45001, y locales, como la Ley 7/2022 en España, su implementación enfrenta obstáculos significativos. (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024) mencionaron que, en Ecuador, sectores como la minería presentan condiciones precarias, con deficiencias en la provisión de equipos de protección personal y sistemas de control, evidenciando una brecha entre la legislación y su aplicación práctica (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024). Los sistemas de protección actuales, como ventilación mecánica, filtros HEPA y carbón activado, muestran limitaciones críticas en entornos con altas concentraciones de contaminantes. Por ejemplo, los sistemas de ventilación convencionales pierden eficacia cuando los niveles de contaminación superan 2-5 veces los valores externos, y los filtros HEPA son ineficaces contra gases como el formaldehído o compuestos orgánicos volátiles (Javier et al., 2024).

Estas limitaciones subrayan la necesidad de diseñar sistemas de protección industrial más eficientes y sostenibles, capaces de mitigar la exposición a contaminantes en entornos laborales extremos. Este estudio propone un enfoque teórico basado en la literatura científica para desarrollar un sistema de protección que integre tecnologías avanzadas, como modelado computacional y materiales innovadores, y cumpla con normativas internacionales y locales. A través de la jerarquía de controles de seguridad, se busca no solo garantizar la seguridad ocupacional, sino también promover la sostenibilidad ambiental en contextos industriales desafiantes, abordando las brechas identificadas en la literatura y contribuyendo al desarrollo de soluciones viables para industrias como la minería en Ecuador.

La Figura 1 muestra la baja eficiencia de los sistemas de protección actuales frente a contaminantes industriales, destacando la necesidad de soluciones innovadoras (adaptado de (Figols-González et al., 2020)

Figura 1. Eficiencia de sistemas de protección industrial frente a contaminantes



2. Materiales y métodos

El desarrollo de un sistema de protección industrial eficiente para mitigar los riesgos de contaminantes como dioxinas y metales pesados requiere un enfoque metodológico riguroso. Esta investigación adopta un diseño teórico y bibliográfico, integrando análisis crítico de literatura científica y normativas internacionales para proponer soluciones innovadoras que aborden las limitaciones de los sistemas actuales. La metodología se estructuró en un proceso sistemático de recopilación, análisis y síntesis de información, con el objetivo de fundamentar una propuesta conceptual que combine seguridad ocupacional, cumplimiento normativo y sostenibilidad ambiental. A continuación, se describen las fuentes de información, los instrumentos de análisis, el diseño de investigación y el enfoque analítico empleados.

2.1 Fuentes de información

La recopilación de datos se centró en fuentes secundarias de alta calidad, incluyendo artículos científicos, normativas internacionales y locales, e informes técnicos. Se consultaron bases de datos académicas como Scopus, PubMed, Web of Science y Google Scholar para identificar estudios relevantes sobre la toxicidad de contaminantes industriales y las limitaciones de los sistemas de protección. Por ejemplo, (Carrillo et al., 2010) y (Ávila-Muñiz et al., 2025b) proporcionan evidencia sobre la bioacumulación de dioxinas y metales pesados, mientras que (Figols-González et al., 2020) destacan la ineficiencia de los sistemas de filtración en condiciones de alta contaminación. Además, se revisaron normativas clave, como OSHA 1910.134 e ISO 45001, obtenidas de los sitios oficiales de la Occupational Safety and Health Administration y la Organización Internacional de Normalización, así como la Ley 7/2022 en España, consultada a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. En el contexto ecuatoriano, (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024) mencionaron que sectores como la minería enfrentan deficiencias en la implementación de normativas, lo que refuerza la necesidad de soluciones adaptadas a realidades locales (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024). Informes de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y Notas Técnicas de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) complementaron la base documental, proporcionando un marco global para el análisis.



2.2 Instrumentos de análisis

Para sistematizar la información, se emplearon herramientas de análisis documental diseñadas para garantizar precisión y organización. Se elaboraron fichas bibliográficas que registraron datos clave de cada fuente, como autores, objetivos, hallazgos y relevancia para la investigación. Estas fichas se clasificaron en categorías temáticas: toxicidad de contaminantes, impactos en salud y medioambiente, limitaciones de tecnologías de protección y requisitos normativos.

Tabla 1. Categorías temáticas de las fichas bibliográficas y fuentes representativas

Categoría temática	Descripción	Fuentes representativas
Toxicidad de contaminantes	Características y bioacumulación de dioxinas, metales pesados y COV	(Carrillo et al., 2010), (Bravo-Orellana et al., 2024)
Impactos en salud y medioambiente	Efectos en salud ocupacional y ecosistemas por exposición a contaminantes	(Ávila-Muñoz et al., 2025a), (Medina et al., 2024)
Limitaciones de tecnología	Ineficiencia de sistemas de ventilación, filtros HEPA y carbón activado	(Figols-González et al., 2020), (Javier et al., 2024)
Requisitos normativos	Normativas internacionales y locales aplicables a la protección industrial	OSHA 1910.134, ISO 45001, Ley 7/2022, (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024)

Autor: Elaboración propia

Además, se construyeron matrices comparativas para evaluar la eficacia de sistemas convencionales, como filtros HEPA y carbón activado, frente a tecnologías emergentes, como membranas nanofiltrantes, que ofrecen mayor adaptabilidad a contaminantes complejos (Guillén-Bermeo & Campoverde-Jiménez, 2024). El software de gestión bibliográfica Mendeley se utilizó para organizar referencias y generar citas en formato Vancouver, asegurando consistencia y trazabilidad. Estas herramientas permitieron una síntesis estructurada de la información, facilitando la identificación de brechas y oportunidades para la propuesta teórica.

2.3 Diseño de investigación

El estudio se diseñó como una investigación documental, descriptiva y cualitativa, estructurada en tres fases iterativas: (1) selección de fuentes relevantes mediante criterios de inclusión, como publicaciones de los últimos cinco años (2020-2025) y enfoque en contaminantes industriales; (2) análisis crítico de la literatura para identificar riesgos, limitaciones de los sistemas actuales y oportunidades de innovación; y (3) síntesis de los hallazgos para desarrollar un sistema de protección conceptual basado en la jerarquía de controles de seguridad (eliminación, sustitución, controles de ingeniería, administrativos y equipos de protección personal). La Figura 2 ilustra estas fases, destacando el proceso iterativo de análisis y síntesis.



Figura 2. Diagrama de flujo de las fases del diseño de investigación

La revisión sistemática priorizó estudios que abordan la baja eficiencia de sistemas convencionales en entornos con altas concentraciones de contaminantes, como el 40% de eficacia del carbón activado en la adsorción de gases (Guillén-Bermeo & Campoverde-Jiménez, 2024) y la limitada capacidad de los filtros HEPA frente a compuestos volátiles (Figols-González et al., 2020). Este enfoque metodológico aseguró una propuesta teórica robusta, alineada con las normativas internacionales y adaptada a las necesidades de industrias en contextos desafiantes, como la minería en Ecuador.

2.4 Enfoque analítico

El análisis de la información se realizó mediante un enfoque comparativo y crítico, integrando principios de ingeniería y sostenibilidad. Se evaluaron las características técnicas de los sistemas de protección, como capacidad de filtración, durabilidad y costos operativos, frente a las demandas de ambientes industriales extremos. Además, se consideraron estrategias administrativas, como la capacitación del personal, para garantizar la viabilidad de la propuesta. La integración de normativas, como OSHA 1910.134 e ISO 45001, permitió alinear el diseño conceptual con estándares globales, mientras que el contexto ecuatoriano aportó especificidad a la propuesta (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024). Este enfoque holístico asegura que el sistema propuesto no solo mitigue riesgos, sino que también promueva prácticas sostenibles y escalables en entornos industriales.

3. Resultados

Esta investigación tuvo como objetivo proponer un sistema de protección industrial teórico que mitigue los riesgos asociados a contaminantes como dioxinas y metales pesados, integrando la jerarquía de controles de seguridad, normativas internacionales y locales, y criterios de sostenibilidad ambiental. A través de una revisión bibliográfica sistemática, se abordaron las preguntas de investigación y los objetivos específicos establecidos: identificar los riesgos de contaminantes industriales, definir las características de un sistema de protección eficiente,

analizar la integración de normativas en el diseño teórico, y determinar estrategias administrativas para la viabilidad del sistema. Los resultados se presentan en función de estos objetivos, seguidos de una discusión crítica que contextualiza los hallazgos y sus implicaciones para la seguridad ocupacional y la sostenibilidad en entornos industriales.

3.1 Riesgos de contaminantes

El análisis de la literatura permitió definir las características clave que debe tener un sistema de protección industrial para ser eficiente y adaptable en entornos con alta concentración de contaminantes. Basado en la jerarquía de controles de seguridad, el sistema debe priorizar medidas de eliminación y sustitución, como la reformulación de procesos industriales para reducir la generación de contaminantes (por ejemplo, reemplazar compuestos clorados en la producción para minimizar dioxinas). Sin embargo, dado que la eliminación total no siempre es viable, los controles de ingeniería, como sistemas de ventilación avanzados y tecnologías de filtración, son esenciales. (Figols-González et al., 2020) indican que los sistemas de ventilación convencionales pierden eficacia en concentraciones de contaminantes 2-5 veces superiores a los valores externos, mientras que (Guillén-Bermeo & Campoverde-Jiménez, 2024) reportan que el carbón activado alcanza solo un 40% de eficiencia en la adsorción de gases en curtiembres.

Desde una perspectiva ambiental, los vertidos industriales de hidrocarburos y aguas residuales comprometen la biodiversidad y la calidad de los recursos hídricos. (Medina et al., 2024) destacan que los hidrocarburos derivados del petróleo, comunes en industrias como la petroquímica, generan toxicidad en ecosistemas acuáticos, afectando la fauna y flora. Asimismo, (Ávila-Muñiz et al., 2025a) identifican que el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y los gases de efecto invernadero contribuyen al cambio climático y la degradación de ecosistemas terrestres y acuáticos. La Figura 3 muestra el impacto relativo de estos contaminantes en la salud ocupacional y el medioambiente, subrayando la urgencia de sistemas de protección efectivos.

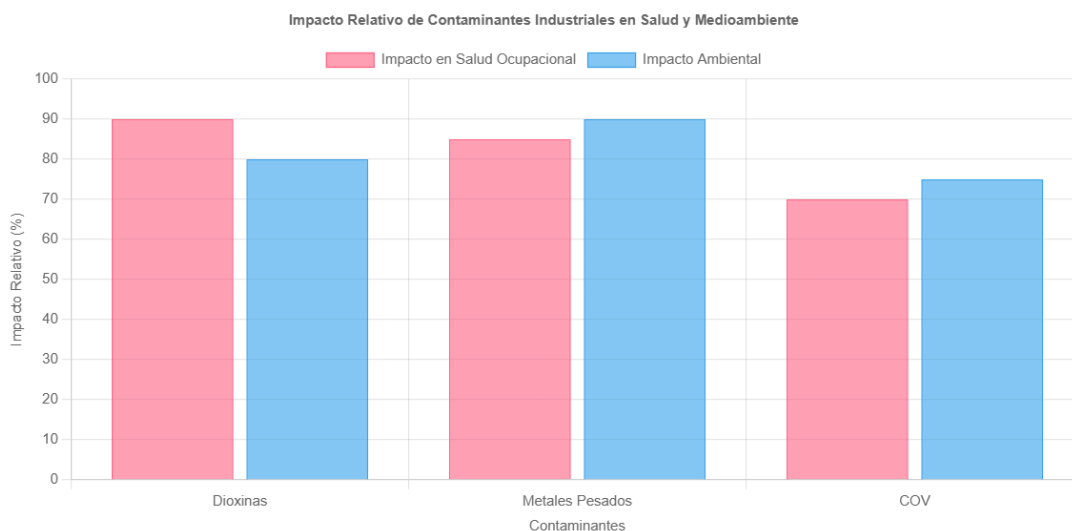


Figura 3. Impacto relativo de contaminantes industriales en salud y medioambiente



Estos hallazgos destacan la necesidad de sistemas de protección que no solo protejan a los trabajadores, sino que también mitiguen el impacto ambiental en comunidades cercanas y ecosistemas circundantes.

3.2 Características de un sistema de protección eficiente

El análisis de la literatura permitió definir las características clave que debe tener un sistema de protección industrial para ser eficiente y adaptable en entornos con alta concentración de contaminantes. Basado en la jerarquía de controles de seguridad, el sistema debe priorizar medidas de eliminación y sustitución, como la reformulación de procesos industriales para reducir la generación de contaminantes (por ejemplo, reemplazar compuestos clorados en la producción para minimizar dioxinas). Sin embargo, dado que la eliminación total no siempre es viable, los controles de ingeniería, como sistemas de ventilación avanzados y tecnologías de filtración, son esenciales. (Figols-González et al., 2020) indican que los sistemas de ventilación convencionales pierden eficacia en concentraciones de contaminantes 2-5 veces superiores a los valores externos, mientras que (Javier et al., 2024) reportan que el carbón activado alcanza solo un 40% de eficiencia en la adsorción de gases en curtiembres.

La Tabla 2 compara las características de los sistemas actuales con el sistema propuesto, destacando la necesidad de tecnologías innovadoras.

Tabla 2. Comparación de sistemas de protección industrial actuales y propuestos

Características	Sistemas actuales (HEPA, Carbón Activado)	Sistema propuesto
Eficiencia	Baja en altas concentraciones (40% para carbón activado; (Javier et al., 2024))	Alta, con membranas nanofiltrantes (80% (Javier et al., 2024))
Adaptabilidad	Limitada a contaminantes específicos (ineficaz contra COV; (Figols-González et al., 2020))	Versátil, adaptable a contaminantes emergentes
Sostenibilidad	Alta generación de residuos, reemplazos frecuentes	Materiales reciclables, bajo consumo energético
Cumplimiento normativo	Parcial, depende de implementación local (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024)	Pleno, alineado con OSHA, ISO 45001, Ley 7/2022

Autor: Elaboración propia

La propuesta incluye la integración de materiales avanzados, como polímeros nanoestructurados, que mejoran la durabilidad y eficiencia de los sistemas de filtración (Miriam et al., 2023) Además, el diseño prioriza la sostenibilidad mediante el uso de materiales reciclables y procesos de bajo consumo energético, alineándose con los principios de la economía circular. Estas características hacen que el sistema sea viable para industrias con alta carga de contaminantes, como la minería en Ecuador.



3.3 Integración de normativas internacionales y locales

La revisión de normativas internacionales y locales permitió orientar el diseño conceptual del sistema de protección. Normas como OSHA 1910.134, que regula los programas de protección respiratoria, e ISO 45001, que establece requisitos para sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional, proporcionan un marco robusto para garantizar la seguridad de los trabajadores. La Ley 7/2022 en España, enfocada en la gestión de residuos y suelos contaminados, subraya la importancia de mitigar los vertidos industriales para proteger el medioambiente. Sin embargo, (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024) mencionaron que, en Ecuador, la implementación de estas normativas en sectores como la minería es deficiente, con limitaciones en la provisión de equipos de protección personal y sistemas de control (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024)

Para integrar estas normativas, el sistema propuesto adopta un enfoque basado en la jerarquía de controles, priorizando medidas preventivas (controles de ingeniería) sobre medidas correctivas (equipos de protección personal). Por ejemplo, el diseño incluye sistemas de monitoreo continuo de contaminantes para cumplir con los límites de exposición ocupacional establecidos por OSHA. Además, se propone la adaptación de las regulaciones locales, como las de Ecuador, mediante la incorporación de tecnologías viables económicamente para industrias con recursos limitados, asegurando el cumplimiento normativo sin comprometer la sostenibilidad.

3.4 Estrategias administrativas para la viabilidad del sistema

La viabilidad de un sistema de protección industrial depende no solo de su diseño técnico, sino también de estrategias administrativas que garanticen su implementación efectiva. La capacitación del personal es fundamental para asegurar el uso correcto de los sistemas de protección y la adherencia a las normativas. La literatura sugiere que programas de formación continua, enfocados en la identificación de riesgos y el manejo de equipos, pueden reducir significativamente los incidentes ocupacionales (Gómez et al., 2022) Además, se identificó la necesidad de establecer protocolos de mantenimiento preventivo para los sistemas de filtración, dado que el reemplazo frecuente de componentes, como el carbón activado, eleva los costos operativos (Javier et al., 2024)

Otra estrategia clave es la implementación de sistemas de gestión integrados que combinen seguridad ocupacional y sostenibilidad ambiental, alineados con ISO 45001. En el contexto ecuatoriano, donde las industrias mineras enfrentan desafíos económicos, (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024) mencionaron que la falta de recursos para capacitación y equipos adecuados es un obstáculo crítico (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024). Por ello, se propone la creación de programas de formación modular, adaptados a las necesidades locales, y la colaboración con instituciones gubernamentales para financiar la adopción de tecnologías sostenibles. Estas estrategias no solo aseguran la viabilidad del sistema, sino que también promueven una cultura de seguridad en el entorno laboral.

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que los contaminantes industriales, como dioxinas y metales pesados, representan una amenaza significativa para la salud ocupacional y el medioambiente, especialmente en sectores como la minería en Ecuador. La baja eficiencia de los sistemas de protección actuales, como los filtros HEPA y el carbón activado, limita su capacidad para mitigar riesgos en entornos con altas concentraciones de contaminantes (Figols-González et al., 2020). Este hallazgo subraya la necesidad de integrar tecnologías emergentes, como membranas



nanofiltrantes, y materiales sostenibles en el diseño de sistemas de protección, como se propone en este estudio.

La integración de normativas internacionales y locales en el diseño teórico asegura que el sistema sea aplicable en contextos diversos, aunque las deficiencias en la implementación, particularmente en países en desarrollo, requieren soluciones adaptadas a las limitaciones económicas y operativas (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024). Las estrategias administrativas, como la capacitación y los sistemas de gestión, son esenciales para cerrar la brecha entre el diseño teórico y su aplicación práctica, promoviendo una adopción efectiva en industrias con recursos limitados.

Comparado con estudios previos, este trabajo aporta una perspectiva holística al combinar la jerarquía de controles de seguridad con criterios de sostenibilidad, un enfoque que pocos estudios han abordado de manera integral. Por ejemplo, mientras (Figols-González et al., 2020) se centran en las limitaciones técnicas de los sistemas de ventilación, esta investigación propone un marco teórico que incluye tanto soluciones tecnológicas como administrativas. Sin embargo, la falta de pruebas experimentales es una limitación de este estudio, ya que el enfoque teórico no permite validar la eficacia de las soluciones propuestas en condiciones reales. Futuras investigaciones podrían incorporar pruebas piloto para evaluar la viabilidad de las tecnologías recomendadas, como las membranas nanofiltrantes, en entornos industriales específicos.

Finalmente, estos hallazgos destacan la importancia de un enfoque integrado que combine innovación tecnológica, cumplimiento normativo y estrategias administrativas para abordar los desafíos de la protección industrial en ambientes contaminados. Este marco teórico sienta las bases para el desarrollo de sistemas más eficientes y sostenibles, con aplicaciones potenciales en industrias de alto riesgo como la minería.

5. Conclusión

Esta investigación propuso un sistema teórico de protección industrial para mitigar los riesgos asociados con contaminantes como dioxinas, metales pesados y compuestos orgánicos volátiles (COV) en ambientes industriales, cumpliendo con normativas internacionales y promoviendo la sostenibilidad ambiental. A través de una revisión bibliográfica sistemática, se identificaron los riesgos significativos de estos contaminantes para la salud ocupacional y los ecosistemas, incluyendo enfermedades crónicas como cáncer y trastornos neurológicos, además de la degradación de suelos y cuerpos de agua (Ávila-Muñoz et al., 2025b). Estos hallazgos destacan la urgencia de desarrollar soluciones integrales que aborden tanto la exposición laboral como los impactos ambientales.

El sistema propuesto, basado en la jerarquía de controles de seguridad, combina controles de ingeniería, como membranas nanofiltrantes, con materiales sostenibles y estrategias administrativas, como la capacitación del personal, para garantizar eficiencia y viabilidad (Javier et al., 2024), (Gómez et al., 2022). A diferencia de los sistemas actuales, que presentan limitaciones críticas en altas concentraciones de contaminantes (Figols-González et al., 2020), el diseño teórico ofrece adaptabilidad a contaminantes emergentes y cumplimiento con normativas como OSHA 1910.134, ISO 45001 y la Ley 7/2022. Sin embargo, (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024) mencionaron que, en contextos como la minería en Ecuador, las deficiencias en la implementación de normativas requieren soluciones adaptadas a limitaciones económicas (Moreira-Travez & Pachano-Zurita, 2024).

La principal contribución de este estudio radica en su enfoque holístico, que integra innovación tecnológica, cumplimiento normativo y sostenibilidad, proporcionando un marco teórico aplicable a industrias de alto riesgo. No obstante, la ausencia de pruebas experimentales representa una



limitación, ya que la eficacia de las tecnologías propuestas, como las membranas nanofiltrantes, debe validarse en condiciones reales. Futuras investigaciones deberían enfocarse en pruebas piloto y estudios de viabilidad económica, particularmente en contextos como el ecuatoriano, para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica.

En conclusión, este trabajo establece las bases para el desarrollo de sistemas de protección industrial más eficientes y sostenibles, con el potencial de mejorar la seguridad ocupacional y proteger el medioambiente en entornos industriales desafiantes. La adopción de este marco teórico podría transformar las prácticas industriales, promoviendo un equilibrio entre productividad, salud y sostenibilidad.

Referencias Bibliográficas

- Ávila-Muñiz, J. E., Fuentes-Parrales, J. E., & Parrales-Reyes, J. E. (2025a). Contaminantes ambientales en ecosistemas forestales y su impacto en la salud humana: Un enfoque desde el análisis del laboratorio. *MQRInvestigar*, 9(1), e205. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e205>
- Ávila-Muñiz, J. E., Fuentes-Parrales, J. E., & Parrales-Reyes, J. E. (2025b). Contaminantes ambientales en ecosistemas forestales y su impacto en la salud humana: Un enfoque desde el análisis del laboratorio. *MQRInvestigar*, 9(1), e205. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e205>
- Bravo-Orellana, M., Bravo-Orellana, C. A., Velázquez Fernández, Á. R., & Pérez-Núñez, J. R. (2024). Influencia entre la contaminación química del aire y las capacidades cognitivas de los niños en edad escolar a nivel de Lima Metropolitana. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 76(4), 29-54. <https://doi.org/10.13042/BORDON.2024.102421>
- Carrillo, A. C., Figueredo, G. M., Osorio, M. L., Carrillo, C., Figueredo, M., Osorio, L., & Toxicología, M. (2010). Toxicología de las dioxinas y su impacto en la salud humana. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19, 73-84. <https://doi.org/10.19052/MV.787>
- Figols-González, M., Díaz-de-Garayo-Balsategui, S., & Aláez-Sarasibar, X. (2020). La monitorización de la calidad del aire interior como herramienta de evaluación y mejora de la salubridad de un espacio. = Indoor air quality monitoring as a tool for evaluating and improving the healthiness of a space. *Anales de Edificación*, 6(3), 13-20. <https://doi.org/10.20868/ADE.2020.4610>
- Gómez, J. O., Herrera, L. F. G., & Quintero, C. A. (2022). Diseño de un prototipo que permita minimizar la emisión de gases contaminantes generados en los procesos químicos e industriales del sector curtiembres en el departamento de Antioquia. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 9(2), 170-179. <https://doi.org/10.26495/ICTI.V9I2.2269>
- Guillén-Bermeo, M. G., & Campoverde-Jiménez, G. E. (2024). Factores de riesgo laboral minero asociados en la cantera de la zona de Tual- Ecuador. *MQRInvestigar*, 8(1), 387-409. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.387-409>
- Javier, I., Figueroa, G., Puente Bosquez, S. M., Fabricio, J., Moreira, G., Andrés, A., & Jácome, O. (2024). Estudio del oobleck en la amortiguación de impactos: eficiencia, aplicaciones y limitaciones. *Revista Social Fronteriza*, 4(5), e45482-e45482. [https://doi.org/10.59814/RESOFRO.2024.4\(5\)482](https://doi.org/10.59814/RESOFRO.2024.4(5)482)
- Medina, L. A. J., Banguera-González, A., Múnera-Porras, L. M., & García-Giraldo, J. A. (2024). Determinación de bacterias con potencial biodegradador de hidrocarburos totales en muelle El Waffe de Turbo, Antioquia y análisis de las políticas ambientales encaminadas a la biorremediación de zonas costeras. *Actualidades Biológicas*, 46(121), e46010. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi/v46n121a04>



- Miriam, C. A., Milton, B. A., Castillo Daynet, S. Del, Eulalia, V. M., & Omar, R. B. (2023). Phytoremediation of five pharmaceutical products registered as emerging contaminants in an aqueous medium using the species Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bionatura*, 8(1). <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.01.18>
- Moreira-Travez, V. H., & Pachano-Zurita, A. C. (2024). Análisis jurídico sobre las condiciones precarias y falta de recursos de la industria minera. *Sociedad & Tecnología*, 7(3), 331-345. <https://doi.org/10.51247/ST.V7I3.442>
- Olivero Verbel, J. T., & Tejada Benítez, L. P. (2016). Perfil toxicológico de los sedimentos del río Magdalena usando como modelo biológico “*Caenorhabditis elegans*.” *Perfil Toxicológico de Los Sedimentos Del Río Magdalena Usando Como Modelo Biológico “Caenorhabditis Elegans.”* <https://doi.org/10.56451/10334/3609>

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.