UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRIA EN SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES

Prevención de enfermedades crónicas derivadas de la exposición laboral al benceno en trabajadores de gasolineras: revisión de la evidencia científica

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES

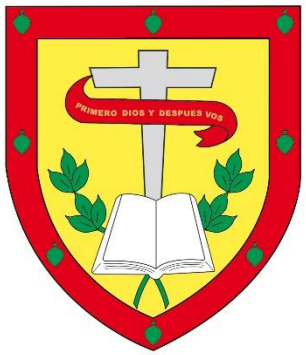
AUTOR: ANDREA MELISSA MÁRQUEZ TORRES

DIRECTOR: SERGIO FERNANDO IGLESIAS ABAD

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRIA EN SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES

Prevención de enfermedades crónicas derivadas de la exposición laboral al benceno en trabajadores de gasolineras: revisión de la evidencia científica

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES

AUTOR: ANDREA MELISSA MÁRQUEZ TORRES

DIRECTOR: SERGIO FERNANDO IGLESIAS ABAD

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Agradecimiento

Agradezco profundamente a Dios, a la Virgen y a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo durante este camino.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Paúl y Lorena, por su amor, apoyo incondicional y por ser un ejemplo constante de esfuerzo, perseverancia y dedicación, sus enseñanzas y confianza han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A mi hermano Paúl, por su apoyo y compañía durante este proceso, y a toda mi familia por cariño, compresión y por brindarme siempre palabras de motivación para continuar avanzando.

Este logro representa la culminación de una etapa de esfuerzo y aprendizaje, pero también refleja el respaldo de quienes estuvieron presentes a lo largo de este camino.

A todos ustedes, mi profundo agradecimiento por contribuir de manera significativa a la consecución de esta meta.

Dedicatoria

Dedico este logro, con profundo amor y gratitud, a mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida y por acompañarme con su apoyo, confianza y cariño durante cada etapa de este camino.

A mis padres, por sus enseñanzas, sacrificios y por impulsarme siempre a alcanzar mis sueños. A mi hermano, por su compañía y apoyo constante, y a toda mi familia, por estar presente y compartir conmigo cada logro.

De manera especial, dedico este logro a la memoria de mi amada abuelita, quien, aunque ya no está físicamente conmigo, permanece siempre en mi corazón. Sus recuerdos, enseñanzas y amor han sido una fuente de fortaleza e inspiración para continuar adelante.

Este logro lleva consigo una parte de cada uno de ustedes y representa también un homenaje a quienes han creído en mí y me han acompañado, de cerca o desde el cielo, en este camino.

Vol.10 No.3 (2026): Journal Scientific MQRInvestigar ISSN: 2588–0659

https://doi.org/10.56048/MQR.2026.e541

Prevention of chronic diseases resulting from occupational exposure to benzene among gas station workers: a review of the scientific evidence

Prevención de enfermedades crónicas derivadas de la exposición laboral al benceno en trabajadores de gasolineras: revisión de la evidencia científica

Autor:

Márquez-Torres, Andrea Melissa*
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestrante en Salud y Seguridad Ocupacional con mención en prevención de riesgos laborales
Cuenca-Ecuador

andrea.marquez@est.ucacue.edu.ec

https://orcid.org/0000-0002-3374-5039

Iglesias-Abad, Sergio Fernando
UNIVERSIDADCATÓLICA DE CUENCA
Ph.D. en Ciencias
Docente
Cuenca–Ecuador

siglesias@ucacue.edu.ec

https://orcid.org/0000-0001-5568-6079

Fechas de recepción: 30-JUL-2026 aceptación: 04-AGOS-2026 publicación: 30-SEP-2026

*Autor de correspondencia: Márquez-Torres, Andrea Melissa

https://orcid.org/0000-0002-8695-5005

http://mqrinvestigar.com/

Resumen

Introducción: El benceno es un hidrocarburo aromático perteneciente a los compuestos de la gasolina, la exposición ocupacional al benceno en estaciones de servicio constituye un riesgo crítico de salud pública debido a su potencial carcinogénico y hematotóxico, siendo ubicada en el segundo puesto de patologías más prevalentes según el Instituto para la Salud y Seguridad Ocupacional de Estados Unidos.

Objetivo: Analizar la evidencia científica sobre las estrategias de prevención de enfermedades crónicas derivadas de la exposición laboral al benceno en trabajadores de gasolineras, con el fin de identificar intervenciones preventivas más efectivas para reducir los riesgos para la salud ocupacional.

Metodología: Para garantizar el rigor metodológico la búsqueda bibliográfica se ejecutará en bases de datos de alto impacto como: PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science, Direct Science, Taylor & Francis; Se rastrearán artículos científicos actualizados que han sido efectuados desde 2021 a 2026.

Resultados: La evidencia demuestra que los controles basados exclusivamente en Equipos de Protección Individual son insuficientes debido al desapego conductual, mientras que los sistemas de ingeniería avanzada reducen drásticamente la carga contaminante. En el ámbito clínico los biomarcadores como el ácido trans, trasn-mucónico (t,t-MA) y el ácido S-fenilmercaptúrico (SPMA) permitieron detectar la absorción del xenobiótico antes de que se manifiesten alteraciones en un hemograma.

Conclusiones: La evidencia científica demuestra que la prevención de enfermedades crónicas por exposición al benceno requiere una estrategia integral basada en controles de ingeniería, sistema de recuperación de vapores y vigilancia médica por con biomarcadores específicos.

Palabras clave: Benceno, Exposición ocupacional, Trabajadores de gasolineras, Enfermedades crónicas, Prevención, Salud ocupacional

Abstract

Introduction: Benzene is an aromatic hydrocarbon found in gasoline. Occupational exposure to benzene at gas stations poses a critical public health risk due to its carcinogenic and hematotoxic potential; it ranks second among the most prevalent diseases, according to the U.S. National Institute for Occupational Safety and Health.

Objective: To analyze the scientific evidence on strategies for preventing chronic diseases resulting from occupational exposure to benzene among gas station workers, in order to identify the most effective preventive interventions for reducing occupational health risks.

Methodology: To ensure methodological rigor, the literature search will be conducted in high-impact databases such as PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science, Direct Science, and Taylor & Francis. The search will focus on recent scientific articles published between 2021 and 2026.

Results: Evidence shows that controls based exclusively on personal protective equipment are insufficient due to noncompliance, whereas advanced engineering systems drastically reduce the exposure burden. In the clinical setting, biomarkers such as trans, trans-muconic acid (t, t-MA) and S-phenylmercapturic acid (SPMA) made it possible to detect absorption of the xenobiotic before changes in a complete blood count became apparent.

Conclusions: Scientific evidence shows that preventing chronic diseases caused by benzene exposure requires a comprehensive strategy based on engineering controls, a vapor recovery system, and medical surveillance using specific biomarkers.

Keywords: Benzene, Occupational exposure, Gas station workers, Chronic diseases, Prevention, Occupational health

Introducción

El benceno es un hidrocarburo aromático volátil presente en los combustibles derivados del petróleo y reconocido internacionalmente como un carcinógeno humano del Grupo 1 por la Agencia Internacional para la investigación sobre el Cáncer. En consecuencia, es posible que los trabajadores y el público en general estén expuestos a ciertos riesgos laborales y accidentales (Rahimpoor et. al, 2023).

El benceno es una sustancia química orgnánica clasificada como hidrocarburo, se utiliza principalmente como disolvente en las industrias químicas y farmaceúticas, en la fabricación de productos como el caucho, lubricantes, detergentes y pesticidad, este compuesto se encuentra de forma natural en el petróleo crudo que constituye la principal fuente de la producción actual de benceno. Desde 1979 está clasficado como carcinógeno humano grupo I, debido a las pruebas contundentes de su asociación con la leucemia (Mangiaterra et. al, 2025).

Se asocia a diversos riesgos tanto laborales como para la salud publica, ya que el benceno tiene la capacidad de penetrar rápidamente la piel y contaminar el agua y los alimentos, lo que provoca exposición dérmica e ingestion (Zhang et. al, 2024). Por ende una vez que entra al organismo se metaboliza en el hígado en óxido de benceno y varios metabolitos reactivos, los mismos que podrían llegar a la médula ósea y a otros organos, al excretarse en la orina tambien puede afectar el tracto urinario; existen dos mecanismos principales por lo que los metabolitos reactivos del benceno pueden inducir carcinogenicidad; 1 la unión covalente del ADN (genotoxicidad) y 2 la ageneración de especies reactivas de oxígeno a traves del daño oxidativo (Márquez et. al, 2022; Seyyedsalehi et. Al, 22).

Aparte de los metabolitos del benceno, esto puede tener efectos tóxicos directos en el organismo y provocar apoptosis lo que a su vez puede causar daño celular, hematotoxicidad y debilitamiento del sistema inmunitario (Márquez et. al, 2022; Seyyedsalehi et. Al, 22).

Las concentraciones sanguíneas de xenobióticos dependen de la capacidad de distribución y de los niveles de depuración renal, por lo general, los hombres tienen un mayor contenido de grasa y las mujeres tienen una tasa de filtración glomerural menor, lo que da lugar a una eliminación mas lenta del organismo o una mayor acumulación en los órganos de almacenamiento (Sassano et. al, 2025).

Los datos sobre la fase de metabolización ponen un mayor uso de glucuroniltransferasa y del sistema P450 por parte de los hombres que de las mujeres, mientras que los datos sobre otras vías de metabolismo eran insuficientes glutatión S-transferasa, sulfotransferasa, carboxilesterasa, alcohol deshidrogenasa, no obstante siguen existiendo incertidumbres sobre el papel de las diferencias de sexo en toxicología (Poli et. Al, 2022).

Las mujeres mostraton una mayor velocidad de metabolización que los hombres; sin embargo, las participantes femeninas presentaban un mayor porcentaje de grasa corporal, lo que influyó en la dosis interna, por lo que, los resultados demostraron, que incluso considerando una situación de exposición similar, las concentraciones de benceno en sangre solian ser mayores en los hombres, pero las mujeres metabolizaban más benceno que los hombres +23-26% al mismo tiempo (Poli et. Al, 2022).

Los trabajadores de gasolineras corren un mayor riesgo de inhalar vapores de compuestos químicos volátiles que pueden causar dolores de cabeza, mareos, fatiga, irritación ocular y nasal, así como también alteraciones hematológicas, dermatológicas y neurológicas (Mendes et. al, 2026).

El instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional recomiendan un límite de exposición ocupacional de 0.1 ppm que es el límite de exposición recomendado utilizando un promedio ponderado TWA de 8 horas que no deberá causar daños a la salud del trabajador, además se menciona que existe una relación entre la exposición prolongada al benceno y el aumento del riesgo de contraer varias enfermedades crónicas, las mismas que suelen manifestarse después de largos periodos de exposición, incluso años después de haber cesado el contacto laboral (Rahimpoor et. al, 2023).

El término bencenismo se refiere a la gama de efectos nocivos que el benceno produce en múltiples sistemas del cuerpo humano, incluidos los sistemas endocrino, inmunitario, nervioso y hematológico, estos efectos pueden afectar la formación de células sanguíneas, lo que puede provocar trastornos hematológicos, infertilidad y malaformaciones fetales. Los trabajadores de gasolineras corren un riesgo particular debido a la exposición frecuente a derrames de combustribles, emisiones de vapor y contacto con ropa impregnada de combustible (Lima et. al, 2024).

Para la salud y seguridad a largo plazo, debe reducirse la exposción al benceno, especialmente la proveneinte de fuentes industriales y el tabaquismo, existen graves riesgos para la salud asociados con el benceno, particularmente para las personas expuestas con frecuencia, especificamente, daña la sangre y aumenta el riesgo de leucemia, siendo un carcinógeno conocido que puede causar cancer. Además del cáncer, la exposición al benceno puede producir supresión de la médula ósea, lo que altera la síntesis de células sanguíneas y aumenta el riesgo de infecciones y hemorragias (Paul et. al, 2025).

En los últimos años, la evidencia científica ha demostrado que el riesgo ocupacional asociado al benceno no depende únicamente de la concentración ambiental, sino también del tiempo de exposición, condiciones de trabajo, características de sistema de dispensación de combustible y la implementación de medidas preventivas (Muto et. al, 2025).

La prevención de la exposición ocupacional al benceno ha evolucionado hacia un enfoque integral basado en la jerarquía de controles, priorizando las medidas de ingeniería y la vigilancia médica sobre el uso exclusivo de equipos de protección personal, en investigaciones recientes se señala que la implementación de sistemas de recuperación de vapores, el mantenimiento preventivo de los equipos de dispensación, reducción de emisiones durante el almacenamiento y transferencia de combustibles, monitoreo ambiental periódico y aplicación de procedimientos operativos constituyen las estrategias más eficaces para disminuir la exposición de los trabajadores al benceno (Anigilage et. al, 2024;Lima et. al, 2024).

Según Wan et al. (2024) desde la evaluación realizada por el grupo de trabajo de International Agency for Research on Cancer (IRAC) en años previos, mencionan que varios estudios que si tuvieron en cuenta el tabaquismo y otras expoisiciones ocupacionales han reportado asociaciones positivas entre la exposición ocupacional al benceno y el cancer de pulmon. Un análisis internacional de 14 estudios en Europa y Canadá han demostrado que la exposición al benceno proviene de fuentes no ocupacionales, como contaminantes atmosféricos relacionados con el tráfico por ende está vinculada con un mayor riesgo de cáncer de pulmón (Wan et. al, 2024).

A nivel mundial el cáncer es la segunda causa principal de mortalidad, la biomonotorización de poblaciones expuestas a carcinógenos puede ser una herramienta preventiva eficaz, por ende se utilizan ampliamente para la biomonitorizacion humanda, dado que el sistema inmunitario participa en la vigilancia inmunitaria de las células tumorales, la identificacion de estas celulas se ha utilizado en estudios de biomonitorizacion, es por eso que se refuerza la importancia de monitorear las exposiciónes laborales, independientemente de la función del puesto o vía de exposición para mitigar daños,por esta razon puede ser una herramienta importante para evaluar la exposición y posibles efectos en la salud (Poca et. al, 2021).

La exposición al benceno es una causa bien conocida de toxicidad en varios tejidos, principalmente a través de la generación de especies reactivas al oxígeno (ERO) y la alteración de la homestasis redox en la médula ósea, por esta razon el estrés oxidativo resultante perjudica la hematopoyesis, debilita las defensas antioxidantes y aumenta el daño celular. La terapia antioxidante, en particular con el uso de fitoquimicos como el ácido gálico esta bien documentado, ya que existe evidencia integradora sobre su mecanismo molecular en la lucha contra el estrés oxidativo (Olatoye et.al, 2025).

Material y métodos

Material

Los materiales empleados en esta revisión estuvieron constituidos por artículos científicos publicados entre los años 2021 y 2026, en idioma inglés y español, obtenidos de bases de datos de alto impacto como: PubMed, Scopus, Scielo, Web of Science, Direct Science, Taylor & Francis; además se consultaron documentos técnicos y normativos de organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) , la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), con el fin de complementar la información relacionada con la exposición ocupacional al benceno, las estrategias de prevención técnica y la vigilancia médica o los efectos crónicos en trabajadores de estaciones de servicio.

Métodos

Se realizó una revisión de la evidencia científica con enfoque documental, orientada a identificar y sintetizar estudios sobre la efectividad de las estrategias de prevención, técnica y vigilancia médica en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas derivadas de la exposición al benceno en trabajadores de estaciones de servicio.

La búsqueda bibliográfica se efectuó en las bases de datos ya mencionadas, se emplearon términos MeSH, palabras claves en inglés y español, combinados mediante operadores booleanos (AND y OR), entre ellos; Benzene; Occupational exposure; Gas station workers; Chronic diseases; Prevention; Occupational health.

Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados en ingles o español que evaluran la exposición ocupacional al benceno, las estrategias de prevención técnica, la vigilancia médica o los efectos crónicos en los trabajadores de estaciones de servicio. Se excluyeron editoriales, cartas al editor, resúmenes de congresos, literatura gris, estudios experimentales y publicaciones que no respondieran a la pregunta de investigación.

La selección de los estudios se realizó mediante la revisión de títulos y resúmenes, seguida de la lectura del texto completo de los artículos potencialmente elegibles, la información recopilada fue sintetizada mendiante un analisis de contenido temático, agrupando los hallazgos según categorías de estudio previamente definidas: exposición ocupacional al benceno, estrategias de prevención técnica, vigilancia médica y enfermedades crónicas asociadas.

Resultados

La búsqueda bibliográfica permitió identificar estudios que evaluaron la exposición ocupacional al benceno y la efectividad de las estrategias de prevención en trabajadores de estaciones de servicio. La evidencia científica analizada mostró que la exposición al benceno continúa representando un riesgo importante para la salud ocupacional, especialmente en trabajadores con exposición prolongada y sin medidas preventivas adecuadas. Asimismo, los estudios coinciden en que la implementación de estrategias de prevención técnica y programas de vigilancia médica contribuye a disminuir la exposición y favorece la detección temprana de alteraciones biológicas asociadas al benceno.

Tabla 1

Enfermedades más prevalentes

Resultados	Tipo de enfermedades	Enfermedades
Primarios	Síntomas neurológicos	Dolor de cabeza, mareos, vértigo, confusión, fatiga, cansancio, deterioro de la memoria, somnolencia, náuseas, vómitos, debilidad en brazos y piernas, pérdida del olfato, temblores, pérdida de apetito, deterioro de la atención, boca seca (12).
Secundarios	Enfermedades respiratorias	Sibilancias torácicas, disnea, tos, dolor torácico, esputo, odinofagia (12).
	Enfermedades hematológicas	Hemorragia nasal, petequias, sangrado, hematomas, leucemia mieloide aguda, anemia aplásica, linfoma no Hodgkin, pancitopenia (12).
	Enfermedades dermatológicas	Dermatitis de contacto, dermatitis alérgica, dermatitis atópica, neoplasias, hipersensibilidad de la piel, sarpullido, melanoma cutáneo, quemaduras
	Enfermedades auditivas	Pérdida auditiva, tinnitus (12).

Fuente: Mendes et al. (2026).

Tabla 2

Evidencia científica sobre la efectividad de las estrategias de prevención técnica y vigilancia médica en trabajadores de estaciones de servicio expuestos al benceno

Autor y año	Población	Estrategia evaluada	Hallazgos	Prevención
Mutuo et al. -2025. (13)	Trabajadores de estaciones de servicio de 22 países	Sistema de recuperación de vapores	Concentraciones de benceno fueron menores en estaciones con sistemas de recuperación de vapores	Controles de ingeniería constituyen la estrategia más eficaz para reducir la exposición ocupacional.
Lima et al. -2024 (9)	Trabajadores de estaciones de servicio	Biomonitoreo (SPMA,t,t-Ma,FISH, marcadores inflamatorios)	Detectan alteraciones biológicas tempranas antes de la aparición de enfermedad clínica y permiten una vigilancia médica más sensible	La vigilancia médica debe incorporar biomarcadores de exposición y de efecto para mejorar la prevención secundaria.
Rahimpoor et al. -2023 (19)	Trabajadores expuestos al benceno	Índices biológicos de exposición	El ácido S-fenilmecaptúrico (SPMA) presentó mayor sensibilidad y especificidad que el ácido trans-mucónico para evaluar exposiciones bajas al benceno	El SPMA debería priorizarse en programas de biomonitoreo ocupacional.
Anigilaje et al.-2024 (2)	Trabajadores de estaciones de servicio	Jerarquía de controles (ingeniería,	La combinación de controles de ingeniería,	La prevención debe abordarse de forma integral y no depender

		administrativos y EPP)	capacitación y monitoreo ambiental reduce la exposición ocupacional a BTEX	exclusivamente del uso de EPP.
Carvalho Mendes et al.-2024 (3)	Trabajadores de estaciones de servicio expuestos a compuestos orgánicos volátiles principalmente BTEX	Vigilancia de la exposición ocupacional, monitoreo ambiental, vigilancia en salud, políticas públicas y medidas implementadas por organismos gubernamentales	Se identifica la ausencia de una síntesis integral sobre las estrategias de vigilancia de la exposición ocupacional al COVs en estaciones de servicio.	Mapear medidas de vigilancia implementadas en diferentes países, fortalecer programas de monitoreo ambiental, biomonitoreo y vigilancia médica, contribuyendo a la prevención de enfermedades ocupacionales.
Silva et al.-2021 (24)	Trabajadores de estaciones de servicio expuestos ocupacionalmente al benceno	Biomarcadores de exposición y efecto ácido S-fenilmercapturico, alteraciones hematológicas y biomarcadores de genotoxicidad	El SPMA es el biomarcador más adecuado para el monitoreo de la exposición ocupacional al benceno.	Programas de vigilancia médica donde se deben incorporar biomarcadores específicos y evaluaciones hematológicas, reforzar controles de ingeniería, monitoreo ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los Resultados

Los resultados indican que la estrategia preventiva más efectiva no depende de una única intervención, sino de la integración de controles de ingeniería, monitoreo ambiental,

biomonitoreo con biomarcadores sensibles, evaluaciones hematológicas periódicas, capacitación continua y cumplimiento de la normativa de seguridad y salud en el trabajo.

Este enfoque integral permite reducir la exposición ocupacional, mejorar la detección temprana de efectos adversos y disminuir el riesgo de enfermedades crónicas relacionadas con el benceno, constituyendo la principal recomendación derivada de la evidencia científica disponible.

Discusión

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la International Agency for Research on Cancer de la OMS, el benceno ha sido reconocido como carcinógeno humano; las afecciones están dadas por las concentraciones de los vapores causando efectos en la salud tanto agudos como crónicos (Chaiklieng et. al, 2021; Jacome, 2021).

En relación con las estrategias de prevención técnica, la revisión sistemática de Muto et al. (2025), que incluyo 73 estudios realizados en 22 países, evidenció que la incorporación de sistemas de recuperación de vapores (Vapor Recovery Systems, VRS), junto con controles de ingeniería como el mantenimiento de los equipos de dispensación y la reducción de emisiones durante el almacenamiento y suministro de combustibles, se asocia con menores concentraciones ambientales de benceno en comparación con estaciones que carecen de estas tecnologías, por ende estos autores concluyen que los controles de ingeniería constituyen la medida preventiva más efectiva para reducir la exposición ocupacional al benceno y disminuir el riesgo de efectos adversos en la salud (Muto et. al, 2025).

Respecto a la vigilancia médica, las revisiones sistemáticas de Lima et al. (2024) y Rahimpoor et al. (2023) muestran una evolución desde la evaluación clínica convencional hacia el uso de biomarcadores específicos de exposición y efecto. Los biomarcadores urinarios, especialmente el ácido S- fenilmecaptúrico (SPMA), junto con el ácido trans-mucónico (t, t-MA), permiten detectar exposiciones incluso a bajas concentraciones, mientras que las técnicas como la inmunofenotipificación, citogenética molecular (FISH), los microARN y los marcadores inflamatorios facilitan la identificación temprana de alteraciones biológicas antes de la aparición de manifestaciones clínicas (Lima et. al, 2024; Rahimpoor et. al, 2023).

La literatura científica reciente sostiene que confiar la prevención exclusivamente al uso de Equipos de Protección Individual (EPI) es una estrategia errónea e insuficiente; como demostró un estudio multifactorial, el desapego conductual de los trabajadores provoca que solo un porcentaje mínimo (12%) utilice respiradores de forma continua durante su jornada laboral (Alfatlawi et al. 2024). Por lo tanto, la prevención técnica efectiva debe priorizar el control en la fuente mediante tecnologías de ingeniería automatizas que minimicen la fuga

de vapores durante el reabastecimiento, reduciendo de raíz la dependencia del comportamiento humano (Alfatlawi et. al, 2024).

Según Oliviera et al. (2023), el espectro de la vigilancia médica preventiva, los protocolos tradicionales de salud ocupacional están transitando hacia indicadores biológicos con mayor especificidad para evitar falsos negativos. Si bien el ácido trans, tras-mucónico (t, t-MA) sigue siendo ampliamente utilizado por su accesibilidad en el laboratorio, investigaciones del periodo 2023- 2025 señalan sus limitaciones debido a la interferencia dietética como el consumo de conservantes como el ácido sórbico y el tabaquismo.

Por esta razón, autores como Silva y Santos (2024) proponen la incorporación del ácido S-fenilmecaptúrico (SMPA) en orina como el estándar de oro para el monitoreo biológico preventivo (15). El SMPA al ser un metabolito directo de la vía de glutatión y no verse afectado por factores externos, permite una vigilancia epidemiológica de alta precisión, ideal para detectar la absorción del xenobiótico bajo los nuevos límites estrictos establecidos globalmente en 2026.

La optimización de los programas de prevención técnica y vigilancia médica debe fundamentarse firmemente en la jerarquía de controles de la seguridad ocupacional. Román-Guzmán (2025) sostiene que en los países en vías de desarrollo existe una tendencia nociva a invertir la pirámide de prevención, pretendiendo mitigar el riesgo de leucemogénesis mediante el uso de mascarillas quirúrgicas o de carbón activado simple, las cuales saturan su capacidad filtrante en menos de dos horas de exposición continua. La evidencia accumulates entre 2021 y 2026 corrobora que la única estrategia preventiva sostenible a largo plazo combina el rediseño de las islas de servicio (controles de ingeniería), la rotación programa de turnos para disminuir el tiempo de exposición (controles administrativos) y exámenes hematológicos con enfoque predictivo, logrando así un blindaje integral contra las patologías crónicas derivadas del benceno.

Según García et al. (2024) la literatura científica reciente señala que las mujeres que se desempeñan como despachadoras de combustible presentan una vulnerabilidad metabólica y fisiológica significativamente mayor ante la exposición crónica al benceno.

Desde una perspectiva médica, el benceno es un compuesto altamente lipofílico, lo que incrementa el tiempo de retención del xenobiótico en el organismo femenino debido a su distribución anatómica natural del tejido adiposo. Asimismo, estudios epidemiológicos desarrollados por Kim y Park (2023) asocian la exposición sub- clínica prolongada con alteraciones endocrinas e irregularidades en el ciclo menstrual de las trabajadoras, por ende en los protocolos de vigilancia de salud se debe implementar controles administrativos diferenciados, tales como una mayor frecuencia en la rotación de turnos para el personal femenino y un monitoreo biológico más estrecho durante periodos de vulnerabilidad reproductiva.

Los trabajadores de la industria están expuestos a compuestos especialemente benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) por lo que estos quimicos pueden inducir a estrés oxidativo al aumentar especies reactivas al oxígeno (ROS), por lo tanto es esencial utilizar compuestos que puedan reducir radicales libres y el estrés oxidativo causado por exposiciones ocupacionales, por lo que la investigación menciona que en estudios previos se ha demostrado que el ácido gálico (GA) puede eliminar radicales libres especialente (ROS), apoyar las defensas antioxidantes intracelulares e inhibir la citotoxicidad causada por agentes oxidantes (Lea et. al, 2026).

Según (Olatoye et al. 2025) en el ámbito de la prevención biomédica se ha demostrado que el daño hematológico inducido por solventes orgánicos puede ser mitigado mediante agentes quimioprotectores, como con esta investigación de alto impacto menciona que la administración de ácido gálico previene eficazmente la aparición de anemia aplásica y enfermedades hematológicas asociadas a la exposición al benceno. Este mecanismo se identifica en la capacidad que tiene el compuesto en neutralizar de forma directa las especies reactivas de oxigo en la médula osea, protegiendo la integridad de las células madre hematopoyéticas y estabilizando los parametros de la serie blanca y roja en le tejido sanguíneo.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación permiten concluir que la reducción del riesgo de enfermedades crónicas en los trabajadores de estaciones de servicio no puede depender de medidas aisladas ni puramente reactivas, sino de una estrategia de seguridad integral y proactiva. Por un lado, la prevención técnica debe priorizar de forma obligatoria el control en la fuente mediante la implementación y el mantenimiento riguroso de sistemas de recuperación de vapores; confiar la seguridad exclusivamente al uso de equipos de protección individual (EPI) resulta insuficiente debido a las barreras del comportamiento humano y la insuficiencia de los filtros comerciales ante la exposición continua.

Por otro lado, la vigilancia médica debe migrar de la detección pasiva de daños principalmente hematológicos avanzados hacia un modelo predictivo baso en el monitoreo periódico de biomarcadores de dosis interna de alta especificidad incorporando un enfoque diferenciado que considere la susceptibilidad fisiológica de los trabajadores.

En un entorno regulatorio global que exige un límite de exposición cada vez más estricto (0.2 ppm al año 2026), la convergencia sinérgica entre la ingeniería industrial y la medicina de trabajo constituye la única vía sostenible para salvaguardar la salud ocupacional y prevenir patologías de origen hematológico.

Referencias bibliográficas

Alfatlawi, S., Abdelkareem, H. N., Salman, M. S., & Almusawi, N. O. (2024). Assessment of benzene exposure among gasoline station employees in Hilla City, Iraq. Journal of Occupational Health and Environmental Safety, 12(2), 145–158 https://www.researchgate.net/publication/408719224_Assessment_of_Benzene_Exposure_Among_Gasoline_Station_Employees_in_Hilla_City_Iraq

Anigilaje, E. A., Nasir, Z. A., & Walton, C. (2024). Exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) at Nigeria's petrol stations: A review of current status, challenges and future directions. Frontiers in Public Health, 12, 1295758. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1295758

Carvalho Mendes, T. M., Soares, J. P., Salvador, P. T. C. O., & Castro, J. L. (2024). *Surveillance of occupational exposure to volatile organic compounds at gas stations: A scoping review protocol*. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 21*(5), 518. https://doi.org/10.3390/ijerph21050518

Chaiklieng S, Suggaravetsiri P, Autrup H. Biomatrix of health risk assessment of benzene-exposed workers at Thai gasoline stations. J Occup Health 2021;63(1):e12307. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12307.

García-Ramírez, L. M., & Torres, J. C. (2024). Diferencias de género en la susceptibilidad toxicológica al benceno ocupacional: Implicaciones para la medicina del trabajo. Revista Brasileña de Salud Ocupacional, 49, Art. e12.

Jacome Muñoz AN. Efectos en la salud de los despachadores de gasolina por exposición a hidrocarburos en Adecamor. Tesis de Maestría. Ambato-Ecuador. Universidad Regional Autónoma de los Andes. 2021. https://www.researchgate.net/publication/353958853_Efectos_en_la_salud_de_los_despachadores_de_gasolineras_por_exposicion_a_hidrocarburos_en_Adecamor

Kim, Y. S., & Park, J. H. (2023). Endocrine disrupting effects and reproductive toxicity of low-level benzene exposure in female fuel station attendants. Environmental Health and Toxicology, 38(2), 104–115. https://doi.org/10.5620/eht.2023008

Lea, I. A., Rivera, B., Rogers, S., & Borghoff, S. J. (2026). Assessment of the carcinogenic potential of automotive gasoline in humans based on mechanistic evidence. Current Research in Toxicology, 10, 100284. https://doi.org/10.1016/j.crtox.2026.100284

Lima, S., Santiago, F., Silvestre, R. T., Elexias, S. R. V., Ornellas, M. H., & Carvalho, M. M. R. (2024). Recent advances in biomonitoring of gas station workers: A systematic review. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 25(10), 3439–3445. https://doi.org/10.31557/APJCP.2024.25.10.3439

Mangiaterra S, Boffetta P, Seyyedsalehi MS. Occupational benzene exposure and risk of nervous system cancers: A systematic review and meta-analysis. Cancer Epidemiol. 2025 Apr;95:102779. doi: 10.1016/j.canep.2025.102779. Epub 2025 Feb 22. PMID: 39987812.

Márquez Torres, A. M., Bojorque Bojorque, L. M., Ortiz Freire, G. E., & Quito Ochoa, P. Y. (2022). *Benceno y alteraciones crónicas dermatológicas en trabajadores de gasolineras* [*Benzene and chronic dermatological disorders in gas station workers*]. *Salud, Ciencia y Tecnología, 2*(S1), 186. https://doi.org/10.56294/saludcyt2022186

Mendes, T. de M. C., Medeiros, K. S., Oliveira, R. F. S. de, Padilha, L. C., & Castro, J. L. de. (2026). *Prevalence of symptoms associated with occupational exposure to benzene, toluene,*

ethylbenzene and xylene among gas station workers: A protocol for systematic review and meta-analysis. BMJ Open, 16(4), e113711. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2025-113711

Muto, E. Y., Figueiredo, E. S., Silva, H. D. P., & Trivelato, G. C. (2025). Benzene Exposure in Gas Stations across the World: A Systematic Review. ACS Chemical Health & Safety, 32(5), 534–547. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chas.5c00041

Olatoye, T. I., Afolabi, B. A., Ogundipe, M. O., & Adebayo, J. O. (2025). Effects of gallic acid on antioxidant defense system and Nrf2 signaling in mice with benzene-induced toxicity: In vivo, in vitro, and computational study. Research Square. https://doi.org/10.2196/preprints.84878

Oliveira, M. R., Andrade, L. H., & Souza, K. F. (2023). Biomarkers of benzene exposure in fuel station workers: A critical review of trans,trans-muconic acid limitations. Toxicology and Industrial Health, 39(4), 211–225. https://doi.org/10.1177/07482337231154321

Paul T, Paul T, Katwal S, Aroori P, Dawer P, Bhatia H, Njideaka-Kevin T, Guntipalli P, Yadav T. Benzene and human health: a comprehensive review of carcinogenic risks, mechanisms, and preventive strategies. Ann Med Surg (Lond). 2025 Sep 3;87(11):7206-7212. doi: 10.1097/MS9.0000000000003806. PMID: 41180735; PMCID: PMC12578042.

Poça, K. S., da Silva, T. M., de Souza, C. M., Ferreira, B. L., Faria, V. X., de Oliveira, M. V., & colaboradores. (2021). Gasoline-station workers in Brazil: Benzene exposure, genotoxic and immunotoxic effects. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 865, 503322. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2021.503322

Poli D, Mozzoni P, Pinelli S, Cavallo D, Papaleo B, Caporossi L. Sex Difference and Benzene Exposure: Does It Matter Int J Environ Res Public Health. 2022 Feb 18;19(4):2339. doi: 10.3390/ijerph19042339. PMID: 35206525; PMCID: PMC8872447.

Rahimpoor, R., Jalilian, H., Mohammadi, H., & Rahmani, A. (2023). Biological exposure indices of occupational exposure to benzene: A systematic review. Heliyon, 9(11), e21576. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21576

Román-Guzmán, J. E. (2025). Análisis de la gestión del riesgo químico por hidrocarburos en América Latina: Desafíos de la jerarquía de controles. Archivos de Prevención de Riesgos Laborales, 28(2), 112–126.

Sassano M, Seyyedsalehi MS, Boffetta P. Occupational Benzene Exposure and Hepatobiliary and Pancreatic Cancers: A Systematic Review and Meta-analysis. Saf Health Work. 2026 Mar;17(1):1-11. doi: 10.1016/j.shaw.2025.10.002. Epub 2025 Oct 24. PMID: 41907665; PMCID: PMC13023073.

Seyyedsalehi MS, Bonetti M, Shah D, DeStefano V, Boffetta P. Occupational benzene exposure and risk of kidney and bladder cancers: a systematic review and meta-analysis. Eur J Cancer Prev. 2025 May 1;34(3):205-213. doi: 10.1097/CEJ.0000000000000911. Epub 2024 Aug 20. PMID: 39229942; PMCID: PMC11949222.

Silva, J. A., & Santos, M. P. (2024). S-phenylmercaptoic acid ($SPMA$) as a selective biomarker for low-level occupational exposure to benzene in gas stations. International Archives of Occupational and Environmental Health, 97(3), 301–314.

Silva, V. M., Medeiros, R. C., Modesto, C. S. P., & Rivera, J. G. B. (2021). *Exposure to benzene in gas station workers: An integrative literature review*. *Research, Society and Development, 10*(6), e14610615649. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15649

Wan, W., Peters, S., Portengen, L., Babigumira, R., Stenehjem, J. S., Richardson, D., & Vermeulen, R. (2024). Occupational benzene exposure and lung cancer in human studies: A

systematic review and meta-analysis. Environmental Health Perspectives, 132(12), 126001. https://doi.org/10.1289/EHP15086

Zhang Z, Shi W, Ru L, Lv W. Biomarkers of occupational benzene exposure: A Systematic Review to estimate the exposure levels and individual susceptibility at low doses. Toxicol Ind Health. 2024 Oct;40(9-10):539-555. doi: 10.1177/07482337241259053. Epub 2024 Jun 12. PMID: 38864232.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.