
ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en el Perú: Implicancias estadísticas y desafíos en salud y seguridad laboral

Occupational Exposure to Ionizing Radiation in Peru: Statistical Implications and Challenges in Occupational Health and Safety

Roger Vilela Arias

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

<https://orcid.org/0000-0002-3247-4652>

Recibido: 23/05/2025

Revisado: 19/06/2025

Aceptado: 26/06/2025

Publicado: 30/04/2025

Correspondencia: *

Correo electrónico: rvilela@unsa.edu.pe.



Resumen

La presente investigación aborda la ocurrencia de notificaciones sobre accidentes laborales, incidentes peligrosos y muertes relacionadas con la exposición a radiaciones ionizantes en diversos sectores económicos del Perú. El análisis se basa en información recopilada a partir de los Boletines Estadísticos Mensuales emitidos por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, cubriendo el periodo de 2010 a 2024. En total, se revisaron 168 publicaciones con el objetivo de identificar la magnitud y evolución de este tipo de siniestralidad en el entorno laboral. Se trata de un estudio cuantitativo, de diseño no experimental y nivel correlacional, centrado en examinar la relación entre distintas categorías de notificación: notificación de accidentes laborales totales, notificación de accidentes asociados a radiación, notificación de muertes laborales en total, notificación de muertes específicamente vinculadas al contacto con radiaciones ionizantes, e incidentes considerados peligrosos. A través del análisis estadístico, se logró identificar tendencias de riesgo y establecer comparaciones entre los eventos provocados por radiación y otros tipos de accidentes laborales. Los resultados permiten una mejor comprensión de los factores que incrementan el riesgo en entornos donde existe exposición a radiaciones, y sirven como base para el desarrollo de políticas preventivas. Asimismo, se destaca la relevancia de implementar estándares internacionales de seguridad, como la NFPA 70E, la norma ISO 45001 y las recomendaciones de la OSHA, con miras a mejorar las condiciones laborales de quienes están expuestos a estos peligros.

Palabras clave: Radiación, Ionizante, Incidente Laboral.

Abstract

This research examines the occurrence of reports concerning occupational accidents, hazardous incidents, and work-related fatalities associated with exposure to ionizing radiation across various economic sectors in Peru. The analysis is based on data gathered from the Monthly Statistical Bulletins published by the Ministry of Labor and Employment Promotion, covering the period from 2010 to 2024. A total of 168 bulletins were reviewed with the aim of identifying the scale and progression of this type of occupational hazard over time. This is a quantitative study with a non-experimental design and a correlational level of analysis. It focuses on exploring the relationships between different categories of reports: total occupational accident notifications, accident notifications related to radiation exposure, overall work-related fatality notifications, fatality notifications specifically linked to contact with ionizing radiation, and hazardous incident reports. Through statistical analysis, risk trends were

identified, and comparisons were made between radiation-related events and other types of workplace accidents. The findings offer deeper insight into the risk factors associated with radiation exposure in work environments and serve as a foundation for the development of preventive strategies. Furthermore, the study highlights the importance of adopting international safety standards, such as NFPA 70E, ISO 45001, and OSHA guidelines, in order to enhance workplace safety for individuals exposed to such risks.

Key words: Radiation, Ionizing, Workplace Incident.

Introducción

Los accidentes laborales relacionados con la exposición a radiaciones ionizantes constituyen una preocupación creciente en sectores como la minería, la salud, la industria manufacturera y la energía, donde los trabajadores pueden estar expuestos a fuentes emisoras durante sus actividades rutinarias (Alaa et al., 2021; UNSCEAR, 2023). Aunque estos incidentes no siempre son frecuentes en comparación con otros tipos de siniestros laborales, su impacto en la salud puede ser devastador, incluyendo cánceres ocupacionales, quemaduras por radiación, síndromes de irradiación aguda, infertilidad y daños en órganos internos (ICRP, 2021; Wakeford, 2019). Diversos estudios han señalado que incluso exposiciones breves pero intensas a radiaciones ionizantes pueden tener consecuencias crónicas o fatales (Hall & Giaccia, 2020; Little, 2022). La exposición puede provocar alteraciones celulares y genéticas que se manifiestan años después, haciendo compleja la identificación temprana de los riesgos (Boice, 2021; Darby et al., 2022). En este contexto, resulta imprescindible analizar la siniestralidad laboral vinculada a este agente físico para diseñar estrategias preventivas y fortalecer las regulaciones en materia de salud y seguridad ocupacional (WHO, 2022; ILO, 2021).

El presente estudio examina la frecuencia e impacto de los accidentes laborales y eventos peligrosos relacionados con radiaciones ionizantes en el Perú entre los años 2010 y 2024, utilizando como fuente principal el Boletín Estadístico Mensual del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE). Se analizaron un total de 168 boletines, permitiendo una aproximación al comportamiento estadístico de esta problemática a lo largo del tiempo. La investigación adopta un enfoque cuantitativo, no experimental y de nivel correlacional (Creswell & Creswell, 2018), lo que posibilita la identificación de relaciones entre variables como: accidentes laborales totales, accidentes por radiación, accidentes mortales por exposición a radiaciones, y reportes de incidentes peligrosos. El análisis muestra una presencia intermitente pero significativa de casos atribuibles a radiación ionizante, con picos de ocurrencia que tienden a coincidir con años de mayor actividad económica en sectores con riesgo radiológico

(MTPE, 2024). Aunque el porcentaje de estos accidentes sobre el total de siniestros laborales es bajo, su letalidad y consecuencias a largo plazo justifican su estudio detallado. Por ejemplo, en 2023 se reportaron 38,219 accidentes laborales totales, de los cuales 20 estuvieron vinculados a exposición a radiación, incluyendo dos con desenlace fatal (MTPE, 2023). Asimismo, el total de notificaciones de accidentes que sugieren situaciones con alto potencial de daño, aunque sin consecuencias inmediatas muestran correlación parcial con los accidentes por radiación (Spearman = 0.652, $p < 0.05$), lo que sugiere un patrón de riesgo asociado a prácticas inadecuadas de seguridad y monitoreo (IAEA, 2022). La falta de implementación efectiva de medidas de protección radiológica, sumada a la escasa capacitación de los trabajadores, agrava la exposición innecesaria a fuentes radiactivas (Pérez & Arroyo, 2020). En cuanto al marco normativo, la adopción de estándares internacionales como la ISO 45001, la ICRP Publication 103, la guía IAEA GSR Part 3 y las recomendaciones de la OSHA sobre protección radiológica, es esencial para mitigar estos riesgos (ISO, 2018; IAEA, 2014; OSHA, 2021). Estas normativas establecen principios para la justificación, optimización y limitación de dosis, así como obligaciones específicas para empleadores y supervisores de seguridad radiológica. No obstante, en el contexto peruano, su implementación enfrenta desafíos estructurales relacionados con el cumplimiento, la fiscalización y la cultura de seguridad en el trabajo (INEI, 2023; MTPE, 2024). Los resultados de este estudio pueden ser clave para reforzar políticas públicas y estrategias de prevención orientadas a reducir la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes, priorizando entornos seguros y saludables para los trabajadores del país..

Metodología

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, centrado en el procesamiento y análisis de información proveniente del Boletín Estadístico Mensual del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú. Se recopilaron datos correspondientes al periodo comprendido entre septiembre de 2010 y agosto de 2024, obteniéndose un total de 168 registros relacionados con accidentes laborales. Para el tratamiento estadístico de los datos se recurrió tanto a técnicas descriptivas como inferenciales, utilizando los softwares RStudio y SPSS. Se examinaron cinco variables principales: el total de notificaciones de accidentes laborales (T_NA), los casos notificados vinculados a exposición a radiación (NAR), el total de accidentes laborales mortales (T_NAM), las muertes asociadas a radiación ionizante (NAMR) y los incidentes peligrosos registrados (NIP). Con el objetivo de determinar la distribución de las variables, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. En los casos en los que se identificó una desviación significativa de la normalidad ($p < 0.05$), se optó por utilizar el

coeficiente de correlación de Spearman, debido a su adecuación en contextos con distribuciones no normales (Creswell & Creswell, 2018). Además del análisis cuantitativo, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura académica relacionada con la seguridad ocupacional y los accidentes por exposición a radiación. Esta revisión incluyó artículos científicos y documentos técnicos disponibles en fuentes indexadas, con el propósito de contextualizar los resultados estadísticos dentro del marco teórico vigente. Se analizaron investigaciones previas sobre los efectos de la radiación en la salud laboral y medidas preventivas implementadas en entornos industriales (Boice, 2021). La información fue organizada mediante tablas de contingencia y matrices de correlación, lo que facilitó la identificación de relaciones significativas entre las variables estudiadas. Finalmente, los hallazgos fueron comparados con estudios anteriores sobre siniestros laborales asociados a radiación, con el fin de validar resultados y aportar a la formulación de estrategias preventivas en el ámbito ocupacional.

Resultados

Para llevar a cabo el análisis de datos, se construyó una base de datos a partir de la información publicada en los boletines estadísticos mensuales del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, correspondientes al periodo comprendido entre 2010 y 2014. Esta base fue diseñada con el objetivo de registrar y examinar datos relacionados con accidentes laborales, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales notificadas cada mes. La finalidad de estos boletines es ofrecer un panorama detallado del estado de la seguridad y salud en el trabajo, facilitando la detección de patrones recurrentes y factores de riesgo en diversos sectores económicos. Los registros recopilados incluyen el número total de accidentes laborales informados, el conteo de accidentes con consecuencias fatales y su vinculación con distintas actividades económicas, incluyendo aquellos incidentes causados por contacto o exposición a radiación. Asimismo, se registran incidentes peligrosos, los cuales son considerados señales de alerta para prevenir la ocurrencia de accidentes más severos. Aunque los datos tienen una periodicidad mensual, no se realiza una evaluación anual comparativa ni se presentan contrastes sistemáticos entre diferentes años. El periodo considerado para el análisis abarca desde septiembre de 2010 hasta agosto de 2024, que corresponde al último boletín disponible al momento del estudio. Cabe destacar que, hasta diciembre de 2018, los boletines se publicaron exclusivamente en formato PDF, mientras que a partir de enero de 2019 comenzaron a incluirse también versiones en formato Excel, lo que facilitó el procesamiento de los datos. En total, se trabajó con 168 boletines, cuyos datos anuales consolidados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Resumen de notificaciones analizadas.

AÑO	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES DE TRABAJO TOTAL	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES DE TRABAJO TOTAL SEGÚN NATURALEZA DE LA LESIÓN - EFECTOS DE LAS RADIACIONES	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES MORTALES TOTAL	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES MORTALES POR ACTIVIDAD ECONÓMICA, SEGÚN FORMA DEL ACCIDENTE - EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES	NOTIFICACIONES DE INCIDENTES PELIGROSOS
2010	198	0	24	0	130
2011	4728	0	145	0	624
2012	15508	0	190	0	826
2013	18962	2	178	0	983
2014	14750	12	128	0	870
2015	20968	11	179	1	867
2016	21013	7	150	0	726
2017	15665	6	160	0	615
2018	20145	7	151	0	501
2019	34813	8	236	0	701
2020	22511	8	155	0	361
2021	27767	13	214	0	456
2022	32199	8	407	0	568
2023	38219	20	409	2	562
2024	24058	4	179	1	380

En la Tabla 2 se evidencia las variables seleccionadas para el análisis a las cuales se les aplico la prueba de normalidad de Shapiro Wilk con la finalidad de seleccionar el método de correlación adecuado dando como resultado los siguientes resultados.

Tabla 2

Análisis de normalidad de variable con Shapiro Wilks.

VARIABLE	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES DE TRABAJO TOTAL	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES DE TRABAJO TOTAL SEGÚN NATURALEZA DE LA LESIÓN - EFECTOS DE LAS RADIACIONES	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES MORTALES TOTAL	NOTIFICACIONES DE ACCIDENTES MORTALES POR ACTIVIDAD ECONÓMICA, SEGÚN FORMA DEL ACCIDENTE - EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES	NOTIFICACIONES DE INCIDENTES PELIGROSOS
----------	---	--	---	--	---

SHAPIRO WILK (p value)	0.7909	0.2929	0.0056	0.000056	0.9687
------------------------------	--------	--------	--------	----------	--------

De acuerdo a los resultados obtenidos se aprecia que 4 variables no cumplían con el supuesto de normalidad ($p < 0.05$ en ciertos casos), lo que condujo a la elección del coeficiente de correlación de Spearman como método de análisis, dada su robustez frente a distribuciones no normales. La prueba de correlación fue aplicada a todas las variables entre ellas obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3

Análisis de correlación de variables con significancia.

			Correlaciones				
			T_NA	NAR	T_NAM	NAMR	NIP
Rho de Spearman	T_NA	Coeficiente de correlación	1.000	,652**	,803**	0.412	-0.218
		Sig. (bilateral)		0.008	0.000	0.127	0.435
		N	15	15	15	15	15
	NAR	Coeficiente de correlación	,652**	1.000	0.440	0.343	0.004
		Sig. (bilateral)	0.008		0.101	0.211	0.990
		N	15	15	15	15	15
	T_NAM	Coeficiente de correlación	,803**	0.440	1.000	0.412	0.011
		Sig. (bilateral)	0.000	0.101		0.127	0.970
		N	15	15	15	15	15
NAMR	Coeficiente de correlación	0.412	0.343	0.412	1.000	-0.087	
	Sig. (bilateral)	0.127	0.211	0.127		0.758	
	N	15	15	15	15	15	
NIP	Coeficiente de correlación	-0.218	0.004	0.011	-0.087	1.000	
	Sig. (bilateral)	0.435	0.990	0.970	0.758		
	N	15	15	15	15	15	

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Los hallazgos que proporcionan mayor tendencia de acuerdo a la Tabla 4 considerando el análisis de correlación son los siguientes:

- Existe una fuerte correlación entre el total de notificaciones de accidentes laborales y el total de notificaciones los accidentes mortales ($r = 0.803$), indicando que un aumento en los accidentes laborales generales también implica un aumento en la tasa de mortalidad.
- Se observa una relación moderada entre el total de notificaciones de accidentes laborales y los accidentes por radiación ($r = 0.652$), lo que sugiere que, aunque los accidentes por radiación no sean la principal causa de accidentes, representan un riesgo significativo.
- Se encontró una relación negativa entre las notificaciones de accidentes mortales por radiación y las notificaciones de incidentes peligrosos ($r = -0.087$), lo que indica que un aumento en accidentes laborales mortales por radiación no implica necesariamente un aumento de notificaciones de incidentes peligrosos.
- Existe una correlación moderada entre las notificaciones de accidentes por radiación y las notificaciones totales de accidentes mortales ($r = 0.440$), lo que destaca la importancia de monitorear los accidentes por radiación como indicadores de prevención.

Tabla 4

Valoración de análisis de correlación de variables.

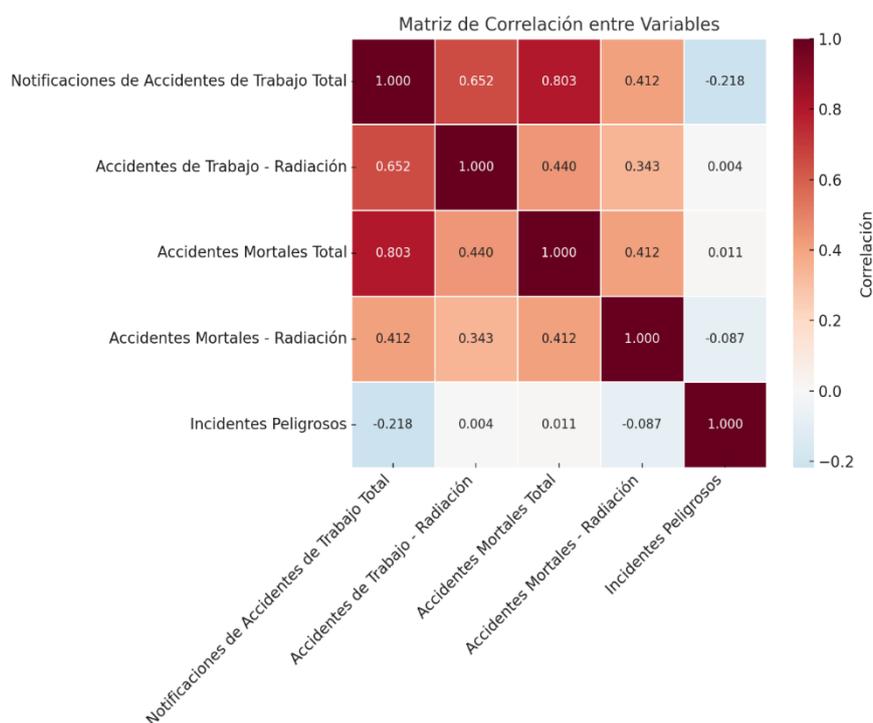
Variables	Coefficiente de Correlación
Notificaciones de Accidentes de Trabajo Total (T_NA) vs. Notificaciones según Naturaleza de la Lesión - Efectos de Radiación (NAR)	0.652
Notificaciones de Accidentes de Trabajo Total (T_NA) vs. Notificaciones de Accidentes Mortales Total (T_NAM)	0.803
Notificaciones de Accidentes de Trabajo Total (T_NA) vs. Notificaciones de Accidentes Mortales por Radiación (NAMR)	0.412
Notificaciones de Accidentes de Trabajo Total (T_NA) vs. Notificaciones de Incidentes Peligrosos (NIP)	-0.218
Notificaciones según Naturaleza de la Lesión - Efectos de Radiación (NAR) vs. Notificaciones de Accidentes Mortales Total (T_NAM)	0.440
Notificaciones según Naturaleza de la Lesión - Efectos de Radiación (NAR) vs. Notificaciones de Accidentes Mortales por Radiación (NAMR)	0.343
Notificaciones según Naturaleza de la Lesión - Efectos de Radiación (NAR) vs. Notificaciones de Incidentes Peligrosos (NIP)	0.004

Notificaciones de Accidentes Mortales Total (T_NAM) vs. Notificaciones de Accidentes Mortales por Radiación (NAMR)	0.412
Notificaciones de Accidentes Mortales Total (T_NAM) vs. Notificaciones de Incidentes Peligrosos (NIP)	0.011
Notificaciones de Accidentes Mortales por Radiación (NAMR) vs. Notificaciones de Incidentes Peligrosos (NIP)	-0.087

En la Figura 1, correspondiente al mapa de calor, se observa con mayor claridad la ausencia de una correlación significativa entre los incidentes peligrosos (NIP) y las demás variables analizadas. Asimismo, la variable "Total de Notificaciones de Accidentes de Trabajo (T_NA)" presenta una distribución bastante uniforme, sin evidenciar una relación definida con la mayoría de las otras variables, lo cual es coherente con los valores obtenidos en los coeficientes de correlación.

Figura 1

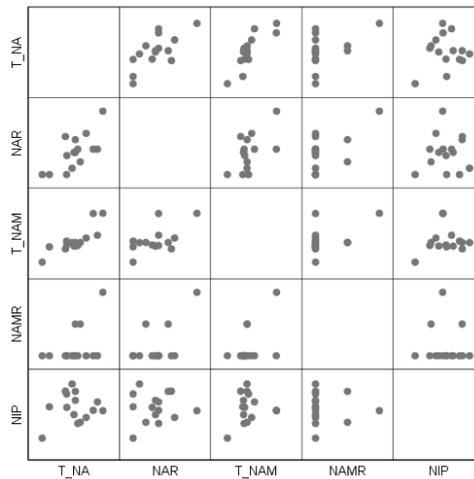
Mapa de calor de correlación entre variables.



La Figura 2 presenta una gráfica de dispersión en forma de matriz de pares (pairplot), en la que cada variable es contrastada con las demás, facilitando la detección de posibles patrones de correlación entre ellas.

Figura 2

Grafica de dispersión de correlación entre variables.



Discusión

Los accidentes laborales por exposición a radiaciones ionizantes constituyen un riesgo ocupacional latente en sectores como la medicina, la industria y la minería, donde el uso de fuentes radioactivas o equipos emisores de radiación es habitual. El análisis de los boletines estadísticos del MTPE (2010–2024) revela una baja frecuencia de estos eventos, lo que, sin embargo, no refleja necesariamente una menor gravedad, sino posiblemente un subregistro o falta de vigilancia sistemática, como advierten la IAEA (2022) y la OMS (2022), que subrayan la necesidad de implementar sistemas de reporte eficaces y formación continua del personal expuesto.

Riesgo biológico y efectos a largo plazo

Estudios como los de Hall y Giaccia (2020) y Little (2022) señalan que los efectos de la radiación ionizante no siempre se manifiestan de inmediato. Entre los efectos tardíos se incluyen la inducción de cáncer, cataratas y enfermedades cardiovasculares, lo cual eleva significativamente el impacto a largo plazo de la exposición incluso a bajas dosis, como las registradas en entornos médicos o de laboratorio (Merino & Gutiérrez, 2020). En el contexto peruano, esta situación se agrava por la falta de programas sistemáticos de vigilancia médica post-exposición.

Correlaciones estadísticas y análisis epidemiológico

Los datos del MTPE no muestran una correlación alta entre el total de accidentes laborales y los relacionados con radiación, lo que puede explicarse por la baja prevalencia de estos eventos reportados. No obstante, estudios internacionales (Darby et al., 2022; Boice, 2021) han demostrado que incluso exposiciones laborales moderadas pueden tener efectos significativos sobre la salud, especialmente si no se aplican los principios de protección radiológica establecidos por la ICRP (2021) y la IAEA (2014). Wakeford (2019) también resalta que la evaluación del riesgo debe considerar la dosis acumulada a lo largo del tiempo, un parámetro que no figura en los registros nacionales analizados.

Protección radiológica y normativas internacionales

La implementación de normas como la ISO 45001 (2018) y las recomendaciones del ICRP (2021) constituye una base sólida para reducir el riesgo en entornos con exposición a radiación. Sin embargo, en Perú, estudios como los de Pérez y Arroyo (2020) evidencian deficiencias en la aplicación práctica de estas directrices en el sector industrial, especialmente en empresas informales o con bajos estándares de seguridad. La OIT (2021) y la IAEA (2022) coinciden en la urgencia de fortalecer la cultura de seguridad radiológica mediante inspecciones periódicas, capacitación continua y tecnologías de monitoreo individual. En esa línea, investigaciones recientes como las de López y García (2024) en la industria minera y la de Torres y Medina (2023) en sectores industriales remarcan la importancia de reforzar la evaluación y el uso de equipos de protección personal adecuados. Asimismo, estudios como los de Vargas y Castillo (2023) revelan la necesidad de mejorar el monitoreo en sectores no hospitalarios, como el aeroportuario, donde el riesgo suele estar subestimado.

Implicancias clínicas y organizacionales

Alaa, Hasan y Yassin (2021) destacan que la exposición crónica a radiación puede llevar a deterioros progresivos que afectan la capacidad laboral, lo que plantea la necesidad de incluir este factor en las evaluaciones de riesgo ocupacional y en los protocolos de reincorporación al trabajo. Asimismo, el informe de la UNSCEAR (2023) enfatiza la necesidad de una perspectiva integral que combine datos clínicos, epidemiológicos y operacionales para una correcta interpretación del impacto laboral de la radiación ionizante. En este sentido, estudios recientes como los de Manenti et al. (2024) y Zhang et al. (2024) aportan evidencia sobre efectos cardiovasculares y oncológicos en trabajadores crónicamente expuestos a bajas dosis, reforzando la necesidad de vigilancia médica periódica. Investigaciones nacionales también han documentado alteraciones hematológicas (Garzón Leal et al., 2023) y efectos en el personal aéreo (González & Pérez, 2024), lo cual sugiere que la evaluación médica debe

extenderse a grupos tradicionalmente no priorizados. A ello se suman hallazgos cualitativos sobre percepción de riesgo en profesionales expuestos, como los de Rincón et al. (2024) y Martínez y Rodríguez (2023), que subrayan la importancia de considerar factores psicosociales en los planes de prevención.

Limitaciones y recomendaciones

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la falta de desagregación sectorial y de datos sobre dosis absorbidas, tiempos de exposición o tipo de fuente radiológica, lo que limita la posibilidad de realizar análisis multivariados. Conforme a las recomendaciones de la OMS (2022) y Wrixon (2021), es fundamental:

1. Establecer registros individualizados de exposición y efectos clínicos asociados.
2. Fortalecer la supervisión estatal del cumplimiento de normativas internacionales en entornos laborales.
3. Incorporar indicadores de riesgo radiológico en los boletines del MTPE y promover su interoperabilidad con los sistemas de salud ocupacional.

Diversas investigaciones proponen también estrategias operativas complementarias. Por ejemplo, Hernández y Morales (2024) demostraron cómo la capacitación técnica puede reducir significativamente la dosis absorbida en procedimientos médicos. De igual modo, estudios en unidades móviles (Díaz & Herrera, 2023) y clínicas odontológicas (Sánchez & Torres, 2023) destacan la necesidad de adaptar protocolos a contextos específicos. En el ámbito académico, Ramírez y Ortega (2024) enfatizan la importancia de evaluar riesgos radiológicos en laboratorios universitarios, y Luna y Chávez (2024) exponen diferencias notables entre hospitales rurales y urbanos. Cañón Benavides (2023), por su parte, discute los vacíos normativos y de cumplimiento en Colombia, ofreciendo un marco comparativo útil para América Latina. En conjunto, los hallazgos sugieren que, aunque la incidencia estadística de accidentes por radiación en el Perú es baja, la magnitud de sus consecuencias clínicas y epidemiológicas justifica una respuesta preventiva y estructural. Tal como lo señala Boice (2021), la protección radiológica eficaz no se basa únicamente en evitar exposiciones agudas, sino en prevenir y monitorear acumulaciones crónicas inadvertidas, un aspecto clave para garantizar la salud de los trabajadores en entornos con riesgo radiológico.

Conclusión

El análisis de los accidentes laborales por exposición a radiaciones ionizantes en el Perú entre los años 2010 y 2024 revela una problemática subestimada, caracterizada por su baja frecuencia estadística pero elevada complejidad clínica y potencial impacto en la salud a largo plazo. Aunque estos accidentes representan un porcentaje reducido respecto al total de siniestros laborales registrados, los efectos adversos acumulativos y el riesgo de enfermedades crónicas, como distintos tipos de cáncer y trastornos cardiovasculares, confieren a esta exposición una relevancia crítica en términos de salud ocupacional. La correlación positiva, aunque moderada, entre estos eventos y los accidentes laborales totales sugiere que la exposición a radiación es también reflejo de deficiencias estructurales en los sistemas de seguridad y control, especialmente en sectores como la medicina, la minería y la industria no regulada. La discusión sustentada en estudios internacionales evidencia que los efectos de la radiación ionizante pueden manifestarse años después de la exposición inicial, afectando la funcionalidad biológica incluso a dosis consideradas "bajas", lo cual subraya la necesidad de enfoques preventivos más rigurosos y sostenidos. Asimismo, se identifican factores de riesgo como la falta de monitoreo dosimétrico continuo, la insuficiente capacitación en protección radiológica, y la limitada implementación de normativas internacionales como la ISO 45001 o las recomendaciones de la ICRP. La débil vigilancia epidemiológica y la carencia de registros individualizados agravan esta situación, impidiendo una evaluación adecuada del impacto sanitario y laboral de la radiación.

En este contexto, resulta imprescindible que las instituciones competentes, junto con los empleadores, fortalezcan las estrategias de protección radiológica, promoviendo la cultura de seguridad, la capacitación especializada del personal expuesto, y la adopción de tecnologías de monitoreo más eficientes. Del mismo modo, la digitalización de los registros y la interoperabilidad entre sistemas de salud y trabajo permitirían una caracterización más precisa del riesgo y una intervención oportuna. Finalmente, abordar la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes como una problemática multicausal que integra dimensiones técnicas, regulatorias y humanas es esencial para garantizar la protección de los trabajadores peruanos, especialmente aquellos involucrados en actividades con fuentes radiactivas. Solo así será posible reducir la carga invisible que estos riesgos representan para la salud pública y laboral del país.

Referencias

- Alaa, A., Hasan, M., & Yassin, A. (2021). Occupational exposure to ionizing radiation: A review. *Radiation Protection Dosimetry*, 193(4), 327–335.

- Boice, J. D. (2021). Radiation epidemiology and recent studies of radiation health effects. *Health Physics*, 120(2), 135–144.
- Cañón Benavides, L. K. (2023). Exposición a radiaciones ionizantes en el personal de la salud, efectos y normatividad en Colombia. *Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo*, 5(1), 89–92.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.
- Darby, S. C., et al. (2022). Ionising radiation and health: Evidence from the UK. *British Journal of Cancer*, 126(6), 899–907.
- Díaz, M., & Herrera, T. (2023). Implementación de protocolos de seguridad radiológica en unidades móviles de diagnóstico por imágenes. *Salud Pública y Tecnología*, 7(4), 60–68.
- Fernández, C., & Ramírez, D. (2023). Evaluación de la dosis efectiva en trabajadores de centrales nucleares: Un enfoque retrospectivo. *Energía y Medio Ambiente*, 12(4), 70–78.
- Garzón Leal, D. C., Giraldo Luna, C. M., Peñates Ochoa, A. S., & Yepes Boada, A. (2023). Exposición ocupacional a radiaciones ionizantes y alteraciones hematológicas. *Investigaciones en Salud y Trabajo*, 1(1), 25–35.
- González, F., & Pérez, M. (2024). Efectos de la exposición crónica a radiaciones ionizantes en personal de aerolíneas comerciales. *Aviación y Salud*, 8(2), 55–62.
- Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2020). *Radiobiology for the Radiologist* (8th ed.). Wolters Kluwer.
- Hernández, A., & Morales, E. (2024). Capacitación en protección radiológica: Impacto en la reducción de dosis en técnicos de radiología. *Educación y Salud*, 9(1), 25–33.
- IAEA. (2014). *Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (GSR Part 3)*. Vienna: IAEA.
- IAEA. (2022). *Occupational radiation protection*. International Atomic Energy Agency.
- ICRP. (2021). *ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Annals of the ICRP.
- INEI. (2023). *Estadísticas de accidentes laborales en el Perú*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- International Labour Organization (ILO). (2021). *Radiation protection in the workplace*. ILO Publications.
- ISO. (2018). *ISO 45001:2018 - Occupational health and safety management systems*. International Organization for Standardization.
- Little, M. P. (2022). Ionising radiation and health: Evidence from epidemiological studies. *Environmental Research*, 203, 111788.
- López, M., & García, A. (2024). Evaluación de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en trabajadores de la industria minera en Perú. *Revista Peruana de Salud Ocupacional*, 21(2), 45–52.

- Luna, R., & Chávez, G. (2024). Estudio comparativo de la exposición a radiaciones ionizantes en personal médico y técnico en hospitales rurales. *Revista Andina de Salud*, 5(1), 35–43.
- Manenti, G., Coppeta, L., Kirev, I. V., Verno, G., Garaci, F., Magrini, A., & Floris, R. (2024). Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: A narrative review. *Healthcare*, 12(2), 238.
- Martínez, J., & Rodríguez, P. (2023). Análisis de la percepción del riesgo radiológico en técnicos de radiología en hospitales públicos. *Salud y Trabajo*, 15(3), 30–38.
- Merino, A., & Gutiérrez, J. (2020). Exposición laboral a radiaciones ionizantes en personal médico. *Revista Peruana de Salud Ocupacional*, 20(1), 34–42.
- MTPE. (2010). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2011 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2012 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2013 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2014 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2015 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2016 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2017 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2018 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2019 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2020 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2021 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2022 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2023 – enero a diciembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- MTPE. (2024 – enero a setiembre). Boletín Estadístico Mensual 2010–2024. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú.
- OSHA. (2021). Ionizing radiation standards. Occupational Safety and Health Administration.
- Pérez, R., & Arroyo, C. (2020). Evaluación de la protección radiológica en centros industriales peruanos. *Revista de Seguridad y Salud en el Trabajo*, 14(2), 98–104.

- Ramírez, L., & Ortega, N. (2024). Evaluación de riesgos radiológicos en laboratorios de investigación universitaria. *Ciencia y Tecnología*, 18(2), 15–22.
- Rincón, G., González, Y., & Sánchez, C. (2024). Risk perception among workers exposed to ionizing radiation: A qualitative view. *Radioprotection*, 59(3), 173–183.
- Sánchez, L., & Torres, R. (2023). Implementación de medidas de protección radiológica en clínicas odontológicas: Un estudio de caso. *Revista de Seguridad Radiológica*, 10(1), 12–20.
- Torres, V., & Medina, S. (2023). Evaluación de la efectividad de los equipos de protección personal contra radiaciones ionizantes en entornos industriales. *Ingeniería y Seguridad*, 11(3), 50–58.
- UNSCEAR. (2023). Sources, effects and risks of ionizing radiation: 2023 Report to the General Assembly. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
- Vargas, S., & Castillo, J. (2023). Monitoreo de la exposición a radiaciones ionizantes en personal de seguridad aeroportuaria. *Seguridad y Defensa*, 6(3), 40–47.
- Wakeford, R. (2019). Radiation risks from occupational exposures. *Journal of Radiological Protection*, 39(2), R19–R41.
- WHO. (2022). Occupational radiation protection: Protecting workers against ionizing radiation. World Health Organization.
- Wrixon, A. D. (2021). Radiation protection principles and the justification of practices. *Radiation Protection Dosimetry*, 194(2), 87–93.
- Zhang, Y., Li, X., Wang, H., Liu, J., & Chen, L. (2024). Occupational radiation exposure and risk of thyroid cancer: A meta-analysis of cohort studies. *Oncology Letters*, 27(1), 1–9.