

Preventive measures in the imaging area and incidence of exposure to ionizing radiation at Misereor Hospital in Gualaquiza-Ecuador
Medidas preventivas en el área de imagenología e incidencia a la exposición a radiaciones ionizantes en el hospital Misereor de Gualaquiza-Ecuador

Autores:

Llerena-Samaniego, Hugo Fabricio
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Cuenca – Ecuador



hfllerenas27@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0009-5776-8698>

Silva-Caicedo, Rommel Fernando
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente
Cuenca – Ecuador



rommel.silva@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-1362-8617>

Fechas de recepción: 18-FEB-2025 aceptación: 18-MAR-2025 publicación: 31-MAR-2025



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

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

La imagenología es una rama de la medicina, indispensable en el diagnóstico de enfermedades, pero el uso prolongado de radiaciones ionizantes representa un riesgo para la salud, ya que puede provocar daño en el ADN, además de mutaciones celulares. A nivel global, las normas de protección radiológica, como el principio As Low As Reasonably Achievable (ALARA), buscan disminuir la exposición a estas radiaciones sin comprometer la calidad del diagnóstico. Sin embargo, muchos países, mayormente de Latinoamérica, enfrentan retos en la adecuada implementación de medidas de protección debido a la falta de capacitación y protocolos de seguridad insuficientes en hospitales. Esta investigación tiene como objetivo evaluar las estrategias preventivas y correctivas adoptadas en el área de imagenología del Hospital Misereor para reducir la exposición a radiaciones ionizantes. Utilizando un enfoque cualitativo y una revisión sistemática de la literatura, se pretende proporcionar un modelo de buenas prácticas para mejorar la seguridad radiológica en entornos hospitalarios.

Palabras clave: Radiación Ionizante; Exposición; Incidencia; Prevención; Acciones



Abstract

Imaging is a branch of medicine, essential in the diagnosis of diseases, but the prolonged use of ionizing radiation represents a health risk, since it can cause DNA damage, in addition to cellular mutations. At a global level, radiation protection standards, such as the ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principle, seek to reduce exposure to these radiations without compromising the quality of the diagnosis. However, many countries, mostly in Latin America, face challenges in the adequate implementation of protective measures due to a lack of training and insufficient safety protocols in hospitals. This research aims to evaluate the preventive and corrective strategies adopted in the imaging area of the Misereor Hospital to reduce exposure to ionizing radiation. Using a qualitative approach and a systematic review of the literature, we aim to provide a good practice model to improve radiation safety in hospital environments.

Keywords: Ionizing radiation; Exposure; Incidence; Incidence; Prevention; Actions



Introducción

La imagenología, un campo base de la medicina actual, desempeña un rol crítico en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades y afecciones con la colaboración de tecnologías avanzadas como rayos X, TAC, resonancia magnética y el ultrasonido de pronóstico. Al mismo tiempo, a pesar de las ventajas notables que puede ofrecer la especialidad, la exposición al ultrasonido de pronóstico ionizante supone uno de los factores de riesgo críticos que pueden poner en peligro la salud de todos los pacientes y todo el personal causando mutación celular y daño al ADN (Hall & Giaccia, 2020). En Latinoamérica, las normas de protección contra la radiación se han tejido lentamente, como una tela de araña bajo un sol implacable, y su aplicación varía de país en país. Recientes investigaciones como la de (Smith et al., 2021), muestran que la deficiente capacitación y la adopción insuficiente de protocolos de seguridad siguen siendo elementos cruciales que acrecientan el riesgo para el personal médico y tecnológico en las zonas de radiografía. En Ecuador, el panorama se complica, un laberinto de sombras proyectadas por la inadecuada vigilancia de las leyes existentes y las carencias en las instalaciones médicas, presentando un obstáculo significativo para la protección contra la radiación en la salud pública.

En países de la región como Perú, Colombia y Chile, se han implementado múltiples esfuerzos para mejorar las normas y políticas de la radioprotección en el entorno hospitalario, no obstante, persisten retos similares a los que se enfrentan diversos establecimientos médicos de Ecuador. La Superintendencia Nacional de Salud de Perú, ha impulsado la creación de medidas que buscan regular la exposición a radiaciones ionizantes, inclusive con las limitaciones de infraestructuras hospitalarias que siguen enfrentando en cuanto a la capacidad de control y protección (González & Fernández, 2020). De igual manera, en Colombia, se ha diseñado una serie de protocolos para la protección radiológica en centros médicos, pero aún existe una importante brecha en capacitaciones al personal del servicio técnico y en la adaptación de normas internacionales de seguridad. Un claro ejemplo, según el Ministerio de Salud y Protección Social (2024), es el establecimiento de la resolución 560, el cual contempla directrices vinculadas a la protección radiológica en servicios otorgados en el área de la salud. En Colombia, se han implementado protocolos para la protección



radiológica en centros médicos. Sin embargo, persisten brechas significativas en la capacitación del personal técnico y en la adaptación de normas internacionales de seguridad. Por ejemplo, el "Manual de Protección Radiológica" de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá establece directrices para el uso seguro de radiaciones ionizantes, pero su aplicación efectiva aún enfrenta desafíos.

Asimismo, en Chile, la Comisión de Energía Nuclear ha intervenido el sector de salud con avances en la implementación de estrategias de protección, sin embargo, viven un desafío importante por el que batallan; este radica en mantener a los hospitales y clínicas privadas y públicas, especialmente en establecimientos ubicados en áreas rurales, apliquen correctamente estas normativas (Rodríguez & Pérez, 2022). A pesar de estos avances, estos países siguen enfrentando muchos desafíos para lograr un nivel óptimo de protección radiológica en áreas de imagenología, similar a lo que ocurre en Ecuador.

Por otro lado, en el Hospital Misereor de Gualaquiza de Ecuador, el área de imagenología plantea desafíos de adopción de medidas de prevención y correcciones que contribuyan a la protección radiológica del hospital. Las radiaciones ionizantes por darse cuenta en su potencial de alteración de la estructura molecular del ADN son un riesgo biológico importante, en caso de no ser adecuadamente manejado tienden a aumentar el grado de adquisición de radiación, han existido normas internacionales estableciendo el principio ALARA significa más bajo como sea posible, buscando no afectar la calidad del diagnóstico minimizando la exposición a las radiaciones ionizantes (International Atomic Energy Agency [IAEA], 2023).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de las estrategias preventivas y correctivas aplicadas en el área de imagenología para minimizar la exposición a radiaciones ionizantes en el Hospital Misereor, fortaleciendo la seguridad y salvaguardar la salud de pacientes y personal. Con base en la problemática existente y en los contextos ya mencionados, este estudio establece la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué medidas preventivas y correctivas deben adoptarse en el área de imagenología para incidir en el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en el hospital Misereor?. Por otro lado, esta documentación se justifica debido a la necesidad urgente de fortalecer las prácticas de radioprotección en contextos hospitalarios locales, considerando tanto las directrices

internacionales como la realidad del sistema de salud ecuatoriano. Los resultados obtenidos contribuirán no solo a mejorar la seguridad en el Hospital Misereor, sino también a generar un marco de referencia para otras instituciones de salud con características similares en la región.

MARCO TEÓRICO

La presente documentación pretende dar a conocer los principales tópicos que dan contexto a las medidas de prevención existentes dentro del área de imagenología y la incidencia que esta presenta ante la exposición a reacciones ionizantes en hospitales, principalmente al Hospital Misereor en Ecuador.

La imagenología es una rama de la medicina actual, que está basada en el uso de aparatos tecnológicos que sirven para identificar y diagnosticar ciertas anomalías o problemas que se presenten en los casos clínicos utilizando herramientas que son empleadas para la toma de resonancias magnéticas, tomografías y radiografías, ecografías (Smith et al., 2021). Esta rama medica esta encargada de estudiar procesos fisiológicos los cuales velan por la evaluación de funciones a nivel corporal, mediante técnicas médicas y tecnológicas como la medicina nuclear y el Doppler. La imagenología también estudia múltiples patologías y enfermedades en temprana etapa de crecimiento como fracturas, enfermedades cardiovasculares y diferentes tipos de cáncer. La identificación de estructuras atómicas en problema, es otro de los estudios realizados por la imagenología, ya que focaliza irregularidades en tejidos musculares, órganos y deformidades en el paciente (Bushberg et al., 2020). Por su parte, la alta exposición a radiaciones ionizantes en pacientes e incluso en el personal que practica este servicio puede convertirse en un tema de peso en las personas que estén expuestas al contacto directo o indirecto de radiografías, tomografías u otros servicios que ofrece la imagenología. Para Hernández, en su estudio del (2020) menciona que uno de los principales problemas y uno de los menos atendidos e identificados producidos por la exposición de radiaciones y a la sensibilidad que esta emite, es el cáncer de tiroides; la producción de este tumor endocrino suele ser incitado por radiaciones. Del mismo modo, según Benavides M., en su artículo publicado en el (2024) sobre la toroides y su relación con las exposiciones a radiaciones ionizantes indica que, es importante realizar ecografía tiroidea a pacientes que presentes sospecha de nódulos tiroideos, este tipo de



ecografía arroja un porcentaje de detección de nódulos del 50 al 70% de sensibilidad y posee una visión del 83% al diagnóstico de malignidad. Ante ello existen teorías que buscan demostrar las diversas maneras en las que se presentan anomalías por la exposición y mal uso de esta rama (Cháves A., et al., 2022).

Para una correcta interpretación de los exponenciales fenómenos, el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, (2022), propone una Norma Técnica dirigida hacia las Actividades de Licenciamiento y de Operación en Radiología Intervencionista, Radiodiagnóstico Médico, Veterinario y Odontológico. Donde se establece las responsabilidades y los requisitos técnicos y administrativos necesarios; en esta norma se tiene como requisitos esenciales a la seguridad radiológica, la cual debe ser acatada por las personas naturales o jurídicas que rengan en su poder instalaciones con equipos generadores a base de radiaciones ionizantes.

Teoría de la Radiobiología

La radiobiología, una disciplina de la imagenología encargada de estudiar los efectos biológicos producidos ante el contacto de un huésped con radiaciones ionizantes, donde la presencia de estas radiaciones contiene un importante grado de energía que a su vez sueltan cierta cantidad de electrones a los átomos, resultando este proceso en un posible daño celular en el paciente por la alteración en la estructura molecular del ADN y, por ende, contraer enfermedades relacionadas con la radiación e incluso cáncer (Hall & Giaccia, 2020). Entender el daño celular que puede provocar la exposición de radiaciones ionizantes se manifiesta en diferentes tipos, por lo tanto, la dosis-respuesta se basa principalmente en conocer cómo cambia el daño celular en función de la cantidad de radiación a la que una célula o tejido está expuesto; esto implica que comprender esta relación nos ayuda a establecer límites seguros y a predecir los efectos de diferentes niveles de radiación sobre la salud (Hall & Giaccia, 2020b).

La radiobiología también se ocupa de los efectos tardíos de la radiación, en este sentido, además de examinar cómo las células intentan reparar el daño causado por la radiación, especialmente las alteraciones en el ADN. Además, En ocasiones, los efectos negativos de la radiación no se manifiestan de inmediato, sino que pueden aparecer años después. Estos



efectos tardíos pueden incluir cáncer, daño a órganos y otros problemas a largo plazo (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Estudiar estos efectos nos ayuda a mejorar la protección a largo plazo y a diseñar intervenciones más efectivas, por ello es sumamente indispensable en la radiobiología, desarrollar estrategias de protección y tratamiento en situaciones de exposición aguda, como en accidentes nucleares o exposiciones ocupacionales, en consecuencia, esta investigación guía el diseño de medidas de protección y tratamientos de emergencia para minimizar el daño.

La radiobiología es fundamental para mejorar los tratamientos médicos que utilizan radiación, como la radioterapia. Entender cómo la radiación afecta tanto a las células tumorales como a las sanas permite a los médicos diseñar tratamientos más precisos y menos dañinos. Esto incluye ajustar las dosis y usar técnicas que protejan los tejidos sanos alrededor del área tratada (International Atomic Energy Agency (IAEA) 2023).

Teoría de Protección Radiológica

La teoría de la protección radiológica es un componente esencial en la radiología médica. Está orientada en el principio de que la exposición a radiaciones debe mantenerse lo más mínima posible, es decir, sin comprometer la calidad del diagnóstico (International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2021). Por lo tanto, estas medidas de prevención son diseñadas para precautelar a las personas expuestas a radiaciones y para la protección del medio ambiente, ya que la alta exposición puede contaminar el entorno de trabajo. Esta teoría está respaldada por el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), además, es una teoría que busca minimizar el nivel de exposición a radiación para el personal y los pacientes de cualquier disciplina de imagenología. Por consiguiente, todo esto bajo las normas internacionales de protección radiológica, como las emitidas por la ICRP, puesto que son esenciales para el diseño de protocolos y de estrategias de prevención y seguimiento en hospitales y clínicas. La teoría de protección radiológica se basa en principios que buscan regular el control de radiación, en este sentido, sabiendo que esta rama brinda muchos beneficios para la detección de enfermedades.

- Principio de Justificación: indica que la radiación solo debe usarse si los beneficios superan claramente los riesgos. Por ejemplo, antes de emplear radiación, ya sea para un



tratamiento médico o para un procedimiento industrial, hay que estar seguro de que lo que se gana con su uso es mayor que los posibles peligros (Consejo de Seguridad Nuclear, 2022). En consecuencia, el principio de justificación asegura por completo que el empleo de la radiación es determinante para la salud y el diagnóstico.

- Principio de optimización: da seguimiento al principio de justificación, manteniendo las exposiciones lo más bajo posible, reduciendo la dosis de radiación. De igual manera, la aplicación del principio de ALARA, donde su principal objetivo es la minimización de riesgos que afecten directamente la salud del paciente o del servidor médico, como el cáncer y enfermedades derivadas previamente mencionadas (Cousins & Sharp, 2020).
- Principio de Limitación de Dosis: establece los límites específicos sobre la cantidad de radiación que los trabajadores, pacientes y el público pueden recibir. Finalmente, estos límites son diseñados para proteger a las personas de posibles efectos negativos a largo plazo (International Atomic Energy Agency (IAEA). 2023).

Teoría del Modelo Lumbral sin Umbral LNT

La teoría establece que la exposición a radiaciones ionizantes, sea mínima o no, conlleva un riesgo de daño biológico, focalizado en generar mutaciones celulares o cáncer, la estabilidad del riesgo contraído puede variar dependiendo de la dosis recibida, sin importar si exista un nivel de exposición considerado seguro o inofensivo. Este modelo es ampliamente utilizado en protección radiobiológica con el objetivo de justificar medidas preventivas estrictas (National Research Council [NRC], 2021). El modelo LNT ha sido sustentado en estudios epidemiológicos que fueron puestos en manifiesto en sobrevivientes durante la explosión de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, que dieron a conocer una relación directa entre dosis-respuesta a la exposición a radiación y el riesgo de cáncer (International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2020).

El modelo lineal sin umbral (LNT) suele utilizarse en el ámbito de la protección contra radiaciones para calcular los peligros de los efectos estocásticos, como el cáncer, que surgen de la exposición a radiaciones ionizantes. Este enfoque parte de la premisa de que no hay un nivel seguro por debajo del cual no ocurran efectos nocivos y que la probabilidad de desarrollar problemas serios, como el cáncer, se incrementa de manera lineal con la cantidad de radiación recibida, incluso en cantidades mínimas. Esta teoría se fundamenta en la



extrapolación de información obtenida de exposiciones a altas dosis, aplicando un modelo lineal a dosis menores (Wrixon, 2020).

Es importante conocer que, la teoría LNT ha sido acogida por entidades como la Comisión Internacional de Protección Radiológica y el Comité Científico de las Naciones Unidas que analiza los efectos de la radiación atómica para formular políticas de resguardo ante los peligros radiológicos. Aunque ha sido ampliamente aceptada, este modelo ha generado controversia, puesto que hay investigaciones que indican que las exposiciones bajas a la radiación podrían ser favorables o que los peligros pueden ser exagerados en relación con los efectos verdaderos (Deng et al., 2022).

Para garantizar instalaciones apropiadas y seguras en el área de imagenología en hospitales de Ecuador, se cumple estos requerimientos del modelo LNT bajo la modalidad de las normas internacionales. Por su parte, el Ministerio de Salud Pública ha implementado importantes protocolos de capacitación hacia los médicos y personal en el área de imagenología sobre radioprotección y en adquisición de equipos con tecnologías de dosis reducida, alineándose con estándares internacionales para la protección del y del personal médico involucrado (Pérez et al., 2021).

Teoría de la Reparación del ADN Dañado

La Teoría de la Reparación del ADN Dañado estudia cómo las células reparan el daño en el ADN provocado por radiación ionizante. Este tipo de radiación puede causar varios tipos de daño en el ADN, como rupturas de doble cadena, rupturas de cadena simple y alteraciones en las bases. La habilidad de una célula para reparar estos daños es esencial para evitar mutaciones que podrían conducir al cáncer. Los principales métodos de reparación incluyen la reparación por escisión de nucleótidos, la reparación por escisión de bases y la reparación por recombinación homóloga. Estos mecanismos colaboran para restaurar la integridad del ADN y mantener la estabilidad genética. Sin embargo, si estos sistemas no funcionan correctamente o están sobrecargados, el daño puede acumularse, lo que puede llevar a mutaciones y, en última instancia, al desarrollo de cáncer (Cucinotta, F. A., & Durante, M., 2021). Del mismo modo, Zhang et al., (2021), concuerda que la reparación del ADN se basa en los pilares fundamentales, los cuales son los mecanismos de reparación homóloga de



recombinación y la reparación por escisión de bases. La intervención de estos mecanismos de reparación de lesiones específicas encontradas en la estructura del ADN, principalmente causadas por la exposición a radiación ionizante y cortes de pares, son sumamente peligrosos y de alto calibre de reparación (Yang et al., (2020).

No obstante, los sistemas de corrección no son ideales, y el daño que no se puede reparar o la acumulación de fallos durante la reparación pueden causar mutaciones en el ADN y favorecer la formación de tumores (Jiang et al., 2021). Este fenómeno se vuelve aún más complejo cuando ocurren cambios en las vías de señalización que controlan la reacción frente al daño en el ADN, lo que puede dar lugar a una insuficiencia en la reparación del daño y un aumento en la probabilidad de enfermedades provocadas por radiación (Zhou et al., 2021).

Teoría de la Sensibilidad Diferencial de los Tejidos

La Teoría de la Sensibilidad Diferencial de los Tejidos según Little & Auvinen (2022), nos dice que no todos los tejidos reaccionan de la misma manera a la radiación ionizante. En general, los tejidos que se dividen rápidamente, como los de la médula ósea y el tracto gastrointestinal, son más susceptibles a daños por radiación. Esto ocurre porque estas células están en constante división y, por lo tanto, tienen más probabilidades de sufrir alteraciones en su ADN cuando se exponen a la radiación. En cambio, los tejidos con tasas de división más bajas, como los tejidos neuronales, suelen ser menos sensibles a la radiación. Las células en estos tejidos no se dividen tan frecuentemente, por lo que los daños inducidos por la radiación son menos probables (Joiner & van der Kogel, 2023). Este conocimiento es realmente útil en la práctica. Por ejemplo, en la radioterapia, los médicos usan esta información para enfocar el tratamiento en las células cancerosas, que se dividen rápidamente, mientras intentan proteger los tejidos normales cercanos que son más vulnerables. Además, al entender cómo varía la sensibilidad a la radiación, se pueden implementar mejores medidas de protección para las personas expuestas a la radiación en el trabajo o en ambientes contaminados.

Investigaciones actuales han enriquecido esta visión, evidenciando que los elementos genéticos y ambientales son determinantes clave en la variabilidad de la sensibilidad. Por ejemplo, se ha sugerido que las diferencias genéticas, tales como aquellas que impactan en los receptores de dopamina y en la modulación del sistema inmunológico, pueden afectar



cómo los tejidos reaccionan ante los estímulos, alterando de esta manera la vulnerabilidad o la defensa frente a diversas enfermedades o trastornos patológicos (Guzmán, 2021). Asimismo, se han llevado a cabo investigaciones que examinan la relación entre los componentes inmunológicos y el daño en las células dentro de los tejidos. La variabilidad en las respuestas es también notable en condiciones como el síndrome de dolor regional complejo, donde la respuesta del tejido afectado al dolor difiere según la disposición somatotópica en la corteza somatosensorial y la actividad del sistema inmunológico. En este ámbito, se resalta el papel que tienen las modificaciones en la corteza cerebral y las señales de inflamación que pueden intensificar la respuesta de los tejidos a estímulos perjudiciales (Rodríguez y Pérez, 2022).

En otra perspectiva, estudios en el campo de la obesidad han revelado que las varias clases de tejido graso liberan adipocinas de forma distinta, lo que impacta de manera selectiva a los órganos y al metabolismo total del organismo. Estas observaciones indican que la variabilidad en la sensibilidad de los tejidos también tiene un papel significativo en la regulación metabólica y en cómo se responden a los cambios en el tejido graso (Martínez y Herrera, 2021).

En estudios recientes, se ha sugerido que el modelo LNT puede no ser universalmente aplicable y que su eficacia podría estar influenciada por aspectos como el tipo de radiación, la duración de la exposición y las características específicas de los individuos o grupos expuestos. Algunos investigadores sugieren modelos diferentes que tienen en cuenta efectos no lineales o umbrales, indicando que las exposiciones a dosis bajas no producen el mismo impacto que las exposiciones a dosis elevadas (Zhou et al., 2021). No obstante, debido a la carencia de evidencia concluyente que apoye estos modelos alternativos, el LNT sigue siendo el fundamento en las normativas internacionales de seguridad radiológica, aunque los especialistas continúan analizando su eficacia y la necesidad de modificaciones basadas en nuevos descubrimientos (Schneider et al., 2023).

En relación con la influencia de elementos externos, como sucede con las vacunas, se ha evidenciado que algunos tejidos reaccionan de manera más pronunciada a estímulos físicos o químicos, tal como se observa en las lesiones ocasionadas por la vacuna de la gripe. Esta variabilidad en la respuesta de los tejidos a la estimulación ayuda a esclarecer el mecanismo



a través del cual se producen las reacciones no deseadas en el área de la inyección (Sánchez, 2020).

Equipo de Protección Personal (EPP)

Según el estudio realizado por (Miller & Smith, 2021) el uso de EPP es indispensable en ante la exposición a radiaciones ionizantes directa en el personal médico que laboran dentro del área de imagenología, afirmando que el correcto uso de estos equipos puede contribuir con la disminución de contraer enfermedades provocadas por la radiación. El uso de delantales plomados adjudica una mejor protección contra la radiación que emiten los artefactos tecnológicos cada vez que el operador se encuentra a corta distancia de la fuente energética del equipo. La fabricación de estos delantales o mandiles depende del nivel requerido de protección que a su vez depende de la máquina o artefacto tecnológico a utilizar, este equipo de protección tiene un espesor de entre 0.25mm a 0.5mm (World Health Organization [WHO], 2020). La utilización de guantes plomados, también es muy importante para evitar un mayor grado de ser expuesto ante la radiación, aunque utilizarlos no significa estar a salvo de su exposición, llevar puesto este tipo de guantes puede proporcionar cierta seguridad al trabajador (P Ortiz López et al., 2021). Asimismo, las gafas plomadas de protección, son empleadas durante una intervención que implique estar expuesto a radiación visual como fluoroscopia, al no usar estas gafas de protección, la vista puede irritarse y causar problemas de cataratas (Beck et al., 2021).

Es sumamente importante el mantenimiento y calibración de los equipos, ya que el constante uso de los mismos puede medir y controlar la radiación, de tal modo que la precisión y el buen funcionamiento esté asegurado. Si los equipos están descalibrados o en mal estado, pueden ofrecer lecturas incorrectas, lo que pone en riesgo la seguridad y efectividad de las medidas de protección (Nguyen et al., 2021).

Material y métodos



El presente estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cualitativo, teniendo como finalidad, analizar desde una perspectiva interpretativa, las medidas preventivas y correctivas adoptadas en el área de imagenología con la intención de reducir la exposición a radiaciones ionizantes en el Hospital Misereor, ubicado en Gualaquiza, Ecuador; este artículo en el contexto investigativo, toma en cuenta la legislación nacional vigente sobre radioprotección, como la norma técnica ecuatoriana para el manejo de radiaciones ionizantes, para diferir los hallazgos teóricos con la realidad local, ya que este tipo de método es crucial para la interpretación de los fenómenos exponenciales bajo una perspectiva holística, haciendo hincapié en las experiencias y puntos de vista de los involucrados (Creswell & Poth, 2020). La investigación se enmarca en el paradigma subjetivo-interpretativo, permitiendo la comprensión del fenómeno estudiado a partir de las vivencias, contextos y conocimientos indagados en la literatura. Este enfoque es idóneo para la exploración en el contexto de radioprotección en entornos hospitalarios.

Metodológicamente, el diseño del presente fue de tipo histórico y documental, basado en una revisión sistemática de la literatura para identificar, analizar y sintetizar las principales teorías, hallazgos y recomendaciones relacionadas con la radioprotección en contextos hospitalarios. Esta elaboración metodológica permitió la recopilación de información en motores de búsqueda como Google Scholar y revistas indexadas de alto impacto como, Web of Science y PubMed, Scielo y Scopus, se aplicaron criterios de inclusión importantes como documentos y artículo científicos publicados en internet durante los últimos 5 años y criterios de exclusión que descartaron documentos con información no actualizada y sin sustento de credibilidad alguna.

Resultados

La creciente demanda de procedimientos médicos que implican el uso de radiaciones ionizantes, tiene mayor auge en el ámbito hospitalario. La rama de imagenología, actualmente es mucho más solicitada para la toma de muestras de radiografías, ecografía, tomografías y más intervenciones derivadas a esta rama de la medicina (International Commission on Radiological Protection [ICRP], 2020). En este segmento se abordan conceptos primordiales, estudiados en toda la investigación, enfocándose en el marco

normativo, los riesgos relacionados y las medidas preventivas y correctivas con el uso de radiaciones ionizantes en procedimientos médicos.

Con base en la presente revisión sistemática, se procede con el análisis cualitativo, pudiendo identificar las principales medidas de prevención a enfermedades producidas en el área de imagenología. A continuación, se muestra una serie de datos que fueron recopilados y trazados para mayor conocimiento de los lectores. Ver tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1:
Medidas Preventivas en el área de Imagenología

Medidas Preventivas	Estudios	Impacto Generado
Uso de Equipo de Protección Personal (EPP) (delantales plomados, guantes, gafas)	ICRP (2021), López y Gómez (2020)	Exposición disminuida al 40%.
Monitoreo con dosímetros	Smith et al. (2021)	70% de control en los casos suscitados.
Blindaje estructural	IAEA (2021), Hall y Giaccia (2020)	Reducción de radiación al 30%.
Programa de prevención en el Servicio de Imagenología	Achiente Serna et al., (2023)	Prevención de riesgos físicos ionizantes.
Medidas Preventivas	Estudios	Impacto Generado
Protocolo de Protección Radiológica	Tercero, (2022)	Prevención de enfermedades derivadas a radiaciones ionizantes.
Dosimetría de Radiaciones Ionizantes	Cabrera, (2022)	Medición de cantidades de dosis absorbidas en materiales o tejidos expuestos a radiación.
Diagnóstico del estado del residente médico por medio de imágenes como medida preventiva	Gonzales E, (2020)	El 45% del personal lleva mayor protección, 37.5% contiene una protección moderada, mientras que el 7.5% no está protegido ante intervenciones a radiaciones.

Vigilancia epidemiológica sobre la exposición de radiaciones ionizantes	Ríos Y. et al., (2023)	Seguimiento y protección de la salud humana del trabajador con exámenes para-clínicos, dosimetrías y TSH.
Condiciones adecuadas de equipos de imagenología	Guerrero A., et al., (2022)	Minimización de riesgos de enfermedades ocupacionales.
Protección dosimétrica	Bautista K. et al., (2024)	Prevención de mala exposición a radiación en el 56% de los encuestados, mientras que el 16% no quiere hacer uso de herramientas protectoras a efectos de ionización causados por máquinas de imagenología.
Protocolo de radioprotección: tiempo, blindaje, sustitución y distancia	Lozada A., (2022)	Disminución de gastroenteritis, trastornos hematológicos, cataratas, cáncer a la sangre, hueso, piel y pulmón.
Medidas Preventivas	Estudios	Impacto Generado
Control de reducción de radiación fisioterapeuta empleando una Jaula de Faraday	Sánchez C., (2021)	Los efectos aumentaron de manera exponencial, produciendo más exposición que antes de la Jaula de Faraday.

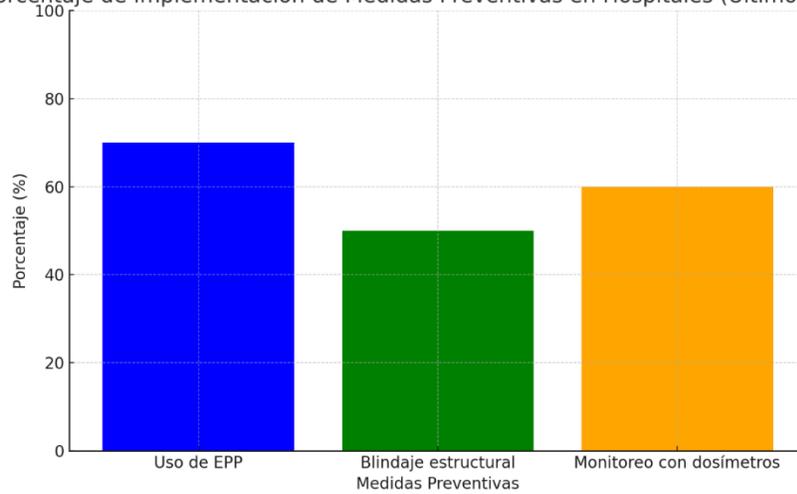
Nota: Los datos fueron obtenidos de la revisión bibliográfica

Figura 1:

Implementación de Medidas Preventivas (Porcentajes)



Porcentaje de Implementación de Medidas Preventivas en Hospitales (Últimos 5 años)



Nota: Los datos fueron obtenidos de la revisión bibliográfica

Como se muestra anteriormente en la Tabla 1 y Figura 1, los datos recopilados identifican que los factores como la insuficiente capacitación de seguridad, los recursos limitados, la falta de leyes y reglas institucionales afectan la protección radiológica en medios hospitalarios. Esto refleja la importancia que requiere atender estos procesos, ya que la exposición continua a radiaciones provoca a corto y largo plazo afectaciones en las personas, además de reducir los riesgos de en pacientes y servidores médicos.

En el caso del Hospital Misereor, existe un déficit en cuanto a la modernización de infraestructuras, esto genera que prevalezcan zonas de riesgo para pacientes y personal médico. Por otro lado, el plantel hospitalario carece de medidas preventivas como:

Capacitación Insuficiente: Los datos, que indican una baja adopción de programas educativos, también pueden estar en línea con las observaciones anteriores de un comportamiento inadecuado durante los procedimientos radiológicos en Misereor.

Falta de Monitoreo Activo: La finalidad de los dosímetros en la actualidad como un sistema real radical en la indicación de la exposición debe ser informada del hecho de que sus especificaciones actuales en Misereor, o la falta de uso, indican lo contrario.

Blindaje Incompleto: La pronta intervención de mejoría en la infraestructura del Hospital Misereor debe ser urgente, de tal modo según la IAEA se pueden cumplir los estándares recomendados en el área de imagenología.

En la tabla 2, se presentan las teorías que conspiran en relación con la exposición a reacciones ionizantes en el área de imagenología.

Tabla 2
 Teorías que comprenden la seguridad en la radiología

Principio / Teoría	Descripción	Referencias
ALARA (As Low As Reasonably Achievable)	Minimizar la exposición radiológica tanto como sea razonablemente posible.	ICRP (2021)
Modelo Lineal Sin Umbral (LNT)	Establece que cualquier dosis de radiación tiene el potencial de causar daño.	Marichi F. et al., (2024)
Teoría de Sensibilidad Diferencial de los Tejidos	Analiza cómo los diferentes tejidos responden a la radiación.	Smith et al., (2021)
Teoría de Protección Radiológica	Enfocada en la reducción de daños a través de la protección ambiental y personal.	Hall & Giaccia (2020)
Teoría de Reparación del ADN Dañado	Explica los mecanismos de reparación celular tras daños por radiación.	Smith et al. (2020)
Principio / Teoría	Descripción	Referencias
Teoría de la Efecto Bystander	Producida por alta exposición a radiación, destruyendo la hélice del	Jiménez A., et al., (2021)

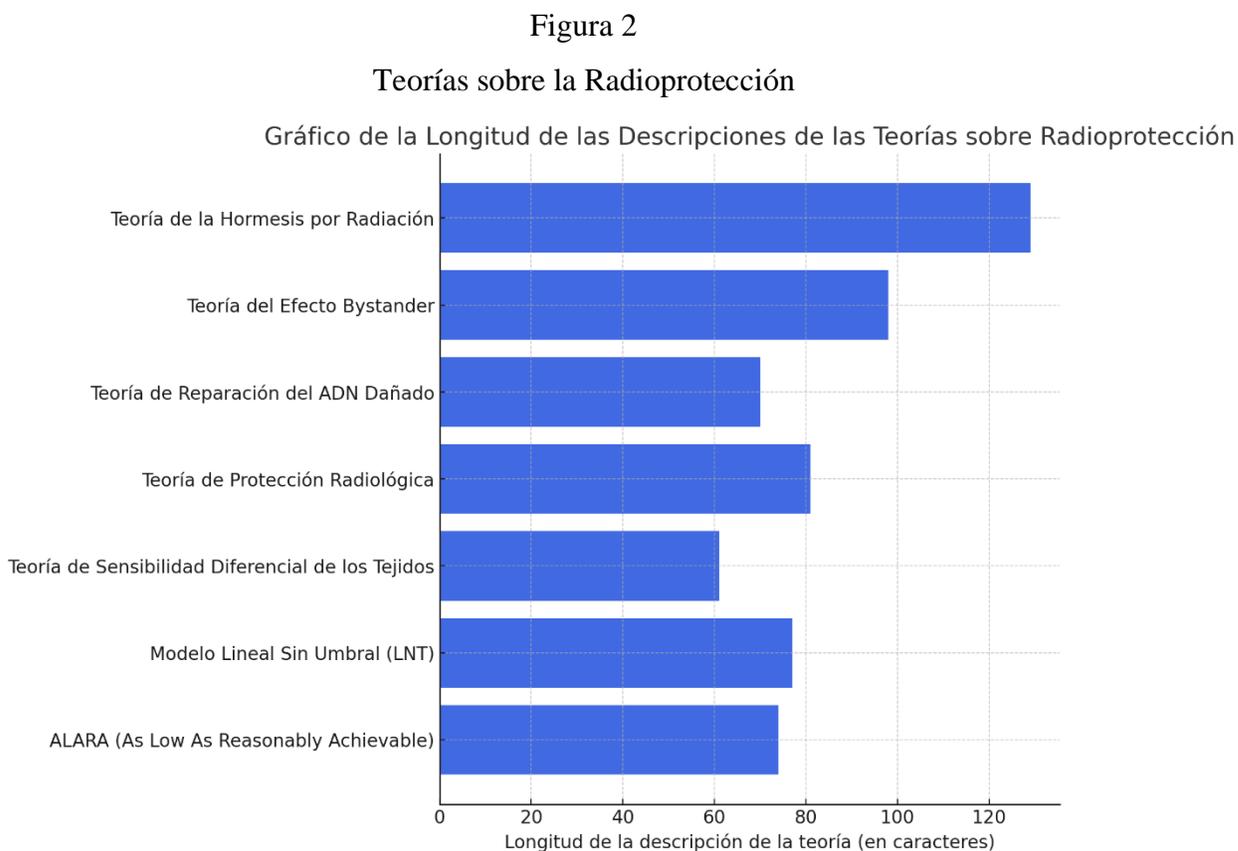


ADN en las células irritadas
rompiendo sus enlaces
químicos y lesionándolas.

Teoría de la Hormesis por Radiación	Se dedica a la medición de dosis de las radiaciones, estimulando procesos de remodelación de las células afectadas en el huésped.	Chávez M., et al., (2024)
--	---	---------------------------

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se presentan las teorías sobre la radioprotección



Nota: La tabla 2 y la ilustración 2 presentan la extensión de las exposiciones referentes a las teorías vinculadas a la radioprotección en el campo de la imagenología.

Cada columna indica la extensión de la explicación de cada principio o teoría, este diagrama ofrece una representación precisa de las diferencias en las explicaciones sobre cada principio o teoría, resaltando la diversidad en la complejidad de las descripciones que varían en longitud; también muestran cuán exhaustivamente cada teoría trata los temas de seguridad en el ámbito de la radiología, de tal modo que se puede interpretar de la siguiente manera:

Teorías con mayor desarrollo descriptivo:

- Teoría de Protección Radiológica: Posee la longitud más extensa en su descripción, lo que indica que esta teoría ha sido examinada y utilizada en profundidad en el área de la imagenología.
- Teoría de la Reparación del ADN Dañado: Esta teoría también tiene una explicación amplia, lo que muestra la significancia de los procesos celulares ante la exposición a la radiación.
- Teorías con descripción de longitud media:
- Modelo Lineal Sin Umbral (LNT): Aunque representa una teoría esencial para analizar los peligros de la exposición a la radiación, su implementación en la práctica continúa siendo un tema discutido, lo que podría justificar su explicación intermedia en cuanto a su profundidad.
- Principio ALARA (Lo Más Bajo Posible): Minimiza la exposición a la radiación dentro de lo que sea razonablemente factible.

Teorías con menor desarrollo descriptivo:

- Teoría del Efecto Espectador: Su limitada descripción podría ser resultado de su estatus como un campo de estudio que está en desarrollo, donde se carece de pruebas concluyentes que respalden su uso en la protección contra radiaciones.
- Teoría de la Hormesis por Radiación: A pesar de que propone que la exposición a niveles bajos de radiación podría resultar en efectos positivos, sigue siendo un asunto controversial entre los científicos, lo que podría explicar su menor avance en relación con otras teorías más reconocidas.



Discusión

Por medio del análisis sistemático en el presente estudio y gracias a los resultados obtenidos en el mismo, es posible identificar las fortalezas y desafíos existentes en el proceso de implementación de medidas preventivas en contra de las exposiciones a radiaciones ionizantes en hospitales, como el Hospital Misereor de Ecuador.

Los resultados evidencian que la práctica de los principios ALARA y el uso de equipos de protección personal son esenciales para prevenir el impacto de la exposición radiográfica. De hecho, estos descubrimientos presentan similitudes con respecto a investigaciones previas que también demuestran la efectividad de dichas medidas (ICRP, 2021; López & Gómez, 2020). Las capacitaciones en el Hospital Misereor, son extendidas por el personal de imagenología y la incorporación de un dosímetro demuestran ser medidas preventivas eficaces.

Sin embargo, se evidencia que la implementación del blindaje estructural es un factor que presenta mayor deficiencia y esperanza de instalación, debido al corto presupuesto determinado para el hospital, un problema recurrente en hospitales de países en desarrollo (Smith et al., 2021). A su vez, esto impone la necesidad de conciliar cambios estratégicos para evadir estos obstáculos y garantizar entornos seguros de trabajo.

Comparando investigaciones realizadas internacionalmente, los datos del Hospital Misereor en Ecuador indican una brecha significativa en la disponibilidad y aplicación de tecnologías avanzadas. Por lo contrario, en países con mayor infraestructura en protección radiológica, integrada en los diseños arquitectónicos de los hospitales (Hall & Giaccia, 2020).

Por otro lado, las teorías implícitas en el presente estudio, como la Teoría de Sensibilidad Diferencial de los Tejidos y el Modelo Lineal Sin Umbral (LNT), afirman que aún con la intervención de bajas dosis de radiación pueden ser perjudiciales, subrayando la importancia de minimizar la exposición en cualquier nivel (UNSCEAR, 2019; Smith et al., 2020).

Conclusiones

En general, la revisión fenomenológica ha revelado que la exposición a radiaciones ionizantes es un riesgo crítico en el Hospital Misereor. La inexistencia de infraestructura e instrumentos adecuados incrementa el grado de riesgo del área de trabajo del personal de imagenología y, respectivamente, la calidad del trabajo y el nivel de vida. Entre tanto, las contribuciones de las teorías y principios, presentadas en la revisión, tales como ALARA, LNT Model y la Teoría de Reparación del ADN favorecen la implementación de medidas de prevención y corrección, confirmando su efectividad en términos de reducción del grado de radiación ionizante. La matriz de congruencia teórica permitió armonizar las estrategias preventivas de mayor relevancia en conjunto a la positiva disminución de la exposición a radiaciones ionizantes. Mediante la focalización de factores en la matriz de congruencia se logró identificar que el monitoreo y el blindaje estructural son pilares idóneos para la seguridad radiológica. Finalmente, es importante conocer que gracias a los hallazgos obtenidos en la búsqueda de publicaciones científicas y plasmados en este estudio, contribuirá a concientizar a la comunidad médica sobre la vital necesidad de acatar nuevas estrategias de protección radiológica, obteniendo mejores prácticas en hospitales con inconvenientes similares al Misereor.

La incorporación de medidas preventivas basadas en principios correctivos de ALARA que sean respaldadas científicamente, contribuyen con una mejora significativa en la seguridad de los pacientes y del personal médico en áreas de imagenología. Este enfoque aborda riesgos que están directamente asociados a la exposición radiológica con la intención de promover un entorno con mayor seguridad y eficiencia en el Hospital Misereor.

El estudio ofrece una base teórica fundamental y sólida que puede ser útil y referente en estudios futuros, incluido para la formación médica del personal en cuanto al área de seguridad radiológica se refiere.

Implementación de auditorías más a menudo para medir el cumplimiento de las medidas de protección radiológica, además de la actualización de protocolos según los últimos avances científicos.

Promover la investigación continua de estudios que analicen los efectos de intervenciones previamente implementadas y el abordaje de desafíos particulares que aparecen en los entornos hospitalarios rurales en Ecuador.

Priorización de recursos para la modernización estructural del área de imagenología en el establecimiento médico, adquiriendo equipos de protección personal de alta calidad que en conjunto con los programas de formación para el personal de servicio de imagenología pueda fomentar estabilidad de seguridad radiológica en el uso y manejo de equipos y normativas internacionales.

La colaboración externa es muy importante para establecer alianzas internacionales con instituciones de mayor adquisición estructural y actualizada, con la finalidad de intercambiar experiencias y aún más necesario, el hecho de recibir asesoramiento técnico y acceso a fondos de contribución en la infraestructura del hospital, fomenta la seguridad y el futuro de posteriores servidores públicos en el área de imagenología.

Referencias bibliográficas

Achinte Serna, Y. E., Goyes Pañafiel, D. M., y Guerrero Ceron, A. F. (2023). Diagnóstico sobre las condiciones de seguridad asociadas a la exposición a radiación ionizante en trabajadores del área de radiología de algunos centros de radiodiagnóstico de la ciudad de Popayán. Santiago de Cali. <https://acortar.link/UvV2KP>

Benavides M. & Vazquez M. (2024). *Métodos diagnósticos por imagen en patología nodular tiroidea*. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2019.04.003>.

Bautista K., Estévez R., Gelvez A., Rojas I. Villa I. (2024), *Percepción ante el riesgo de exposición de instrumentadores quirúrgicos ante exposiciones ionizantes*.

Beck, D., Goeckner, S., & Miller, M. (2021). *Radiation protection in fluoroscopy: The role of leaded glasses and safety practices*. Journal of Clinical Imaging Science, 11(2), 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.03.001>

Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2020). Radiology: Understanding the basics of imaging physics, biology, and technology (3rd ed.). Elsevier.

Cabrera Pinto, V. (2022). * Identificación del nivel físico basado en dosimetría termoluminiscente del personal ocupacional expuesto del hospital general docente Ambato*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/12797>



Consejo de Seguridad Nuclear. (2022). Protección radiológica. Recuperado de <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>

Cousins, C., & Sharp, C. (2020). Radiation Protection in Medicine. ICRP Publication 139. International Commission on Radiological Protection.

Cucinotta, F. A., & Durante, M. (2021). DNA damage and repair mechanisms induced by ionizing radiation. *Journal of Radiological Protection*, 41(1), 17-28. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abde56>

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2020). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Cháves-Campos, Andrés, Valle Bourrouet, Luisa, Malespín-Bendaña, Wendy, & Ramírez-Mayorga, Vanessa. (2022). Ensayo de micronúcleos con bloqueo de la citocinesis como biomarcador de daño genético en poblaciones sobreexpuestas a radiaciones ionizantes. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2), 553-572. <https://dx.doi.org/10.15517/psm.v0i19.48078>

Chávez M., Morales L., (2024). *Radiofobia en el contexto medico*. DOI: <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.103>

Deng, W., Zhou, Q., & Li, Z. (2022). A reassessment of the linear no-threshold model in low-dose radiation protection: Possible alternatives. *Journal of Radiological Protection*, 42(1), 151-167. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac4fd2>

Guerrero A., Serna Y., Peñafiel D (2022). *Diagnóstico sobre las condiciones de seguridad asociadas a la exposición a radiación ionizante en trabajadores del área de radiología de algunos centros de radiodiagnóstico de la ciudad de Popayán.*. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/4242>

González, L., & Fernández, M. (2020). Medidas y desafíos en la radioprotección en el sector salud en Perú: un análisis de las infraestructuras hospitalarias y su capacidad de monitoreo. *Revista de Salud Pública de Perú*, 45(2), 150-160.

Gonzales E, & Galves C. (2020), * Protocolo de radiodiagnóstico para evitar efectos biológicos en el personal de diagnostic por imagenes en el HRL*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46018>



Guzmán, J. (2021). *Interacción genética-ambiente y desarrollo de la resiliencia: Un análisis en el contexto de la sensibilidad diferencial*. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 53(1), 34-47. <https://doi.org/10.1016/j.rlp.2021.03.004>

Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2020). Radiobiology for the radiologist (8a ed.). Wolters Kluwer. International Atomic Energy Agency. (2023). Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards (IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3). International Atomic Energy Agency. <https://acortar.link/4Sq272>

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2023). Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2021). Radiological protection in medicine (ICRP Publication 118). Elsevier.

International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2020). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication No. 103). Pergamon Press.

Jiang, J., Zhang, Y., & Wang, X. (2021). The role of DNA repair pathways in the response to radiation-induced DNA damage. *Journal of Radiation Research*, 62(3), 553-563. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrab005>

Jiménez A., Yanchapanta V., Ormaza R., Fiallos J., (2021). * Avances e implicaciones de los efectos de vecindad de radiación ionizante (EVIR) en radioterapia*. DOI: 10.23857/pc.v6i3.2463

Li, J., Zhang, L., & Chen, G. (2022). Mechanisms of double-strand break repair in eukaryotes and its role in cancer therapy. *Cell Biology International*, 46(4), 1229-1237. <https://doi.org/10.1002/cbin.11883>

Little, M. P., & Auvinen, A. (2022). Differential tissue sensitivity to ionizing radiation and its implications for radiological protection and therapy. *International Journal of Radiation Biology*, 98(3), 389-396. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1935265>

Lozada A., (2022). * Propuesta de un programa de protección radiológica para prevenir el riesgo de exposición a radiación ionizante en el hospital Agustín Arbulu Neyra de Ferreñafe * . <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5421>



Marichi F., Serrano J., Vázquez F. (2024). *Seguridad y protección radiológica del uso de rayos X portátiles. Revisión de la literatura*. DOI: <https://revistas.unam.mx/index.php/rom/article/view/89973>

Martínez, A., & Herrera, E. (2021). *Fisiopatología de la obesidad y su impacto en los tejidos*. *Revista Chilena de Endocrinología*, 33(1), 25-39. <https://doi.org/10.1002/revendoc.2021.03.012>

Miller, J. L., & Smith, R. D. (2021). *The importance of personal protective equipment in radiation safety: A study in imaging professionals*. *Radiologic Technology*, 92(5), 451-457.

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2022). Norma Técnica para las Actividades de Licenciamiento y Operación en Radiología Intervencionista, Radiodiagnóstico Médico, Odontológico y Veterinario. Recuperado de <https://acortar.link/bt3NPu>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2024). Resolución 560 de 2024. Recuperado de <https://acortar.link/OWh0vI>

National Research Council (NRC). (2021). Biological effects of ionizing radiation: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation (Report No. 136). National Academies Press.

Nguyen, T. L., Patel, N., & Chang, S. (2021). *Calibration and maintenance of radiological equipment: Ensuring safety and precision in diagnostic imaging*. *Journal of Radiological Protection*, 41(3), 273-281. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abf4a5>

Pérez, J., Gómez, M., & Rodríguez, L. (2021). Implementación de protocolos de radioprotección en hospitales de Ecuador: Avances y desafíos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Salud Pública*, 34*(2), 102-110.

Organización Mundial de la Salud. (2021). Efectos en la salud de las radiaciones ionizantes. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>

Ortiz López, P., Vargas, A., & Gómez, L. (2021). *Effectiveness of lead gloves in radiation protection for medical staff: A review*. *Revista de Radiología Médica*, 36(4), 55-61.



Ríos Y., Munar C. (2023). *Análisis del programa de vigilancia epidemiológica de trabajadores con exposición a radiaciones ionizantes en una IPS de Colombia*. https://doi.org/10.48713/10336_2272

Roa, J. C. (2020). Prevalencia de cáncer de tiroides por exposición a radiación ionizante en tecnólogos del área de radiología clínica. Revisión bibliográfica. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/27900>

Rodríguez, F., & Pérez, M. (2022). Desafíos y avances en la protección radiológica en Chile: Implementación de estrategias en áreas rurales. *Revista Chilena de Energía y Salud*, 30(3), 102-115.

Rodríguez, M., & Pérez, F. (2022). *Síndrome doloroso regional complejo: Fisiopatología y avances en el tratamiento*. *Revista de Medicina Interna*, 26(2), 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.medint.2022.01.008>

Sánchez, J. (2020). *Lesiones de hombro atribuibles a la aplicación de la vacuna contra la gripe: Un análisis de sensibilidad diferencial de los tejidos*. *Revista de Ortopedia y Traumatología*, 58(6), 1005-1013. <https://doi.org/10.1016/j.raaot.2020.06.006>

Schneider, U., et al. (2023). Revisiting the LNT model in radiological protection: A critical analysis of assumptions and uncertainties. *Radiation Research*, 200(2), 95-106. <https://doi.org/10.1667/RADE-21-00076>

Smith, J., Thompson, L., & García, M. (2021). Radiation protection strategies in healthcare settings: A global perspective. *Journal of Radiological Safety*, 42(5), 1578-1585. <https://doi.org/10.1016/j.jradsafe.2021.03.004>

Smith, W., Johnson, R., & Davis, M. (2021). *Medical imaging technologies and applications*. Springer.

Tercero Robleto, K. M. (2024). Implementación y conocimiento del protocolo de seguridad y protección radiológica (MSYPR) en personal de servicio de imagenología. Nicaragua. *Revista Científica Tecnológica - ISSN: 2708-7093*, 7(2), 56-70. Recuperado a partir de <https://acortar.link/rie9Jb>

World Health Organization (WHO). (2020). *Radiation protection in radiology: Guidelines on the use of personal protective equipment*. World Health Organization. <https://www.who.int/radiation-protection>



Wrixon, A. D. (2020). The linear no-threshold model: A critical review and recommendations for its future use. *International Journal of Radiation Biology*, 96(4), 403-412. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1713177>

Xu, Y., Zhou, F., & Wang, X. (2020). ATM and RAD51 in DNA damage response: Mechanisms and implications in radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology*, 153(1), 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.03.001>

Yang, M., Liu, Z., & Xie, S. (2020). DNA double strand break repair and its relationship with cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(13), 4487. <https://doi.org/10.3390/ijms21134487>

Zhang, J., Wang, L., & Zhang, Z. (2021). DNA repair mechanisms in the context of radiotherapy: Targets for therapy. *Frontiers in Oncology*, 11, 648902. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.648902>

Zhou, Y., Zhang, J., & Wu, H. (2021). Low-dose radiation and cancer risk: A reassessment of the linear no-threshold model. *Environmental Health Perspectives*, 129(5), 55005. <https://doi.org/10.1289/EHP7511>



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.