FACTORES ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL POR RADIACIÓN IONIZANTE EN TECNÓLOGOS MÉDICOS EN RADIOLOGÍA EN PROCEDIMIENTOS DE RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE

FACTORS ASSOCIATED TO IONIZING RADIATION OCCUPATIONAL EXPOSURE IN RADIOLOGIC TECHNOLOGISTS AT INTERVENTIONAL RADIOLOGY PROCEDURES: A SCOPING REVIEW

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA

AUTORES
ADRIAN ALEJANDRO CHAMORRO ALZAMORA
KARLA GERALDINE SANCHEZ FLORES

ASESORA
NORA DEL PILAR ACOSTA RENGIFO

CO-ASESOR
LUIS ALEXANDER ORREGO FERREYROS

LIMA – PERÚ
2026

JURADO

Presidente: MG. F.M. JOSE FERNANDO MARQUEZ PACHAS

Vocal: LIC. T.M. MARCO ANTONIO RIVERO MENDOZA

Secretaria: MG. T.M. DIANA CAROLINA MUCHA LOPEZ

Fecha de Sustentación: 29 de octubre de 2026

Calificación: Aprobado

ASESORES DE TESIS

ASESORA

LIC. T.M. NORA DEL PILAR ACOSTA RENGIFO

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0009-0005-6923-2576

CO-ASESOR

MG. LUIS ALEXANDER ORREGO FERREYROS

Departamento Académico de Clínicas Médicas

ORCID: 0000-0003-3502-2384

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios y a la Virgen María Auxiliadora, por iluminar mi camino ante las adversidades de la vida. A mi nonno, Marco Antonio Alzamora, quién impactó en mi decisión para elegir esta profesión y continuar con su legado. A mi nonna, Flor de María Valderrama, mi brújula moral, quién me ha acompañado con su amor infinito y enseñanzas de vida. A mi mamá, Melina Astrid, mi modelo a seguir, por su entrega constante e incondicional. A mi padre, Jorge Luis, por motivarme a ser mejor persona para mis hermanos. Finalmente, a Renatto Ruiz, por inspirarme a crear, investigar y crecer. *(Adrián Chamorro A.)*

A Dios, por guiarme, darme salud y fortaleza. A mis padres, Elmer y Jacqueline, por su amor incondicional, gracias por su compañía a lo largo de este camino y enseñarme a nunca rendirme, sus noches de desvelo han rendido sus frutos. A mi hermano, Alessandro, la razón para esforzarme cada día, por impulsarme a crecer. A Bailey, mi perrito, su presencia ha sido un gran apoyo emocional. De manera especial, a mi abuelito Máximo, quien me cuida desde el cielo y sé que está muy orgulloso de mis logros. Finalmente, Anthony Carlos, por su amor, por motivarme constantemente. Con todo mi amor, mi gratitud y con el alma llena de orgullo les dedico este logro. Todo esto es por ustedes y para ustedes. *(Karla Sanchez F.)*

Por último, queremos dedicar este logro a Carlos Kenyo Alvarado León, compañero y amigo, quién marcó un hito durante nuestra etapa universitaria y en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros familiares y seres queridos por su amor, compañía y motivación en cada paso de este proceso, por brindarnos la fortaleza necesaria para cumplir nuestro propósito.

También agradecemos profundamente a nuestra asesora, la Lic. T.M. Nora del Pilar Acosta Rengifo, por su valiosa guía, paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Esta tesis, con diseño de estudio de revisión de alcance, fue autofinanciada por los autores del presente estudio.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores del presente estudio declaran no tener conflictos de interés.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	SANCHEZ FLORES KARLA GERALDINE
2.	CHAMORRO ALZAMORA ADRIAN ALEJANDRO

Pertenecientes al programa de la **CARRERA PROFESIONAL DE TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA,** autores del trabajo titulado: **FACTORES ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL POR RADIACIÓN IONIZANTE EN TECNÓLOGOS MÉDICOS EN RADIOLOGÍA EN PROCEDIMIENTOS DE RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE** el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA** bajo la modalidad de **TESIS.**

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	ACOSTA RENGIFO NORA DEL PILAR	MEDICINA	ASESOR
2.	ORREGO FERREYROS LUIS ALEXANDER	MEDICINA	CO-ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **15%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **trn:oid:::1:3702357799**; fecha de entrega: **05-11-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 5 de noviembre del 2026.**

Firma del asesor
N° DNI: 09177838
ORCID: 0009-0005-6923-2576

Firma del Co-asesor
N° DNI: 41202355
ORCID: 0000-0003-3502-2384

TABLA DE CONTENIDOS

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 3

III. MATERIALES Y MÉTODOS 4

IV. RESULTADOS 9

V. DISCUSIÓN 14

VI. CONCLUSIONES 20

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 22

VIII. TABLAS 27

ANEXOS

RESUMEN

Introducción: La radiología intervencionista permite realizar un diagnóstico y tratamiento mínimamente invasivo guiado por fluoroscopia, lo que conlleva una exposición ocupacional a radiación ionizante para los tecnólogos médicos en radiología. **Objetivo:** Mapear la evidencia disponible sobre los factores asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante en tecnólogos médicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista. **Materiales y Métodos:** Se realizó una revisión de alcance según el Manual de Joanna Briggs Institute (JBI) y la declaración PRISMA-ScR. Se incluyeron estudios con acceso completo, publicados desde enero de 2012 hasta octubre de 2025. Se usaron las bases de datos de PubMed, LILACS, Scopus y Embase. Además, para cubrir la literatura gris, se realizó la búsqueda en Google Scholar y ALICIA-CONCYTEC. **Resultados:** Un total de 32 estudios fueron incluidos, entre literatura académica y gris. Según la clasificación Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM), el 59,4 % de los estudios corresponden a un nivel 4 de evidencia. **Conclusiones:** El factor conductual fue el determinante de exposición ocupacional más reportado, identificando el bajo uso de lentes plomados para protección ocular. En relación con las consecuencias biológicas, la opacidad en el cristalino se identificó como el efecto determinístico reportado con mayor frecuencia entre los tecnólogos médicos en radiología y los técnicos en radiología.

Palabras clave: Exposición Ocupacional, Radiación Ionizante, Radiología, Radiología Intervencionista (DeCS).

ABSTRACT

Introduction: Interventional radiology enables minimally invasive diagnostic and therapeutic procedures guided by fluoroscopy, which results in occupational exposure to ionizing radiation among radiologic technologists. **Objective:** To map the available evidence on factors associated to occupational exposure to ionizing radiation among radiologic technologists involved in interventional radiology procedures. **Methods and Materials:** A scoping review was conducted in accordance with the Joanna Briggs Institute (JBI) Manual for Scoping Reviews and the PRISMA-ScR statement. Full-text studies published from January 2012 to October 2025 were included. Searches were performed in PubMed, LILACS, Scopus and Embase databases. In addition, grey literature was searched through Google Scholar and ALICIA-CONCYTEC. **Results:** A total of 32 studies, including both peer-reviewed and grey literature, were included. According to the Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM) classification, 59.4% of the studies corresponded to level 4 evidence. **Conclusions:** The behavioral factor was the most frequently reported determinant of occupational exposure, particularly the low use of leaded glasses for eye protection. Regarding biological consequences, lens opacity was identified as the most frequently reported deterministic effect among radiologic technologists and radiology technicians.

Keywords: Occupational Exposure, Ionizing Radiation, Radiology, Interventional Radiology (MeSH).

I. INTRODUCCIÓN

La radiología intervencionista se ha consolidado en las últimas décadas como una especialidad médica de alta complejidad que permite realizar procedimientos de diagnóstico y tratamiento mínimamente invasivos guiados por imágenes del interior del cuerpo en tiempo real mediante el uso de la fluoroscopia (1,2). Sin embargo, el uso de las radiaciones ionizantes, como los rayos X, conlleva una exposición ocupacional para los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE), que ejercen su práctica clínica en procedimientos de radiología intervencionista (3–6).

En nuestro país, dentro del equipo multidisciplinario, el tecnólogo médico en radiología cumple un rol esencial en la adquisición y gestión de la imagen médica durante los procedimientos de radiología intervencionista (7,8). Asimismo, este profesional de la salud está a cargo de racionalizar la dosis de radiación durante la exposición (9,10), recibida por el paciente, con el propósito de prevenir efectos determinísticos, así como reducir la probabilidad de efectos estocásticos asociados con las radiaciones ionizantes (11).

Durante el desarrollo del presente estudio, en el ámbito internacional, se identificó una heterogeneidad en la categorización profesional/técnica y denominación del título de este grupo ocupacional, debido al grado de formación académica (12). En nuestro país, este profesional de la salud está denominado como Tecnólogo Médico en la especialidad de Radiología, similar a Chile donde el Tecnólogo Médico obtiene la mención en Imagenología y Física Médica, con cinco años de estudios (10 semestres académicos). En el contexto regional, en Argentina se forman Licenciados en Producción de Bio-imágenes, con estudios de entre cuatro y cinco años, y Técnicos en Radiología, con una formación académica menor o igual a 3

años. Esta tecnicatura es igual en Brasil, Colombia y Venezuela. En Europa, específicamente en España, la formación de técnicos superiores dura entre dos y tres años, aunque actualmente se encuentran gestionando la Licenciatura en Imagen Médica y Radioterapia, de cuatro años de duración, semejante a las de Italia y Portugal (13). En el hemisferio norte, la categorización de este profesional, con un bachelor's degree, es: Radiologic Technologist (USA), Medical Radiation Technologist (Canadá) y Radiographer (UK y UE). Debido a esto, en el presente estudio, se emplearán las denominaciones de tecnólogo médico en radiología (T.M.), con un grado de bachiller y una formación académica entre cuatro y cinco años, o equivalente a 180-240 créditos europeos (ECTS); y de técnico en radiología (T.R.), con estudios menores o iguales a 3 años o equivalente a 180 ECTS.

Por otro lado, existen factores técnicos, organizacionales y conductuales que influyen en la exposición ocupacional a la radiación ionizante (14,15) y que podrían provocar consecuencias biológicas en este grupo ocupacional (16). El incumplimiento de las normas y protocolos de protección radiológica podría incrementar el riesgo de afectar su salud a lo largo de su vida laboral (17–19). A pesar de ello, la evidencia disponible se ha centrado en otros grupos ocupacionales (20,21), frente a una limitada literatura enfocada en los T.M. y T.R. que participan en procedimientos de radiología intervencionista.

En este contexto, la presente revisión de alcance se diseñó para responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué evidencia disponible existe sobre los factores asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante en tecnólogos médicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista?

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Mapear la evidencia disponible sobre los factores asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante en tecnólogos médicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista.

2.2 Objetivos específicos:

- Explorar los factores conductuales, organizacionales y técnicos asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante en tecnólogos médicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista.
- Identificar la evidencia disponible sobre las consecuencias biológicas asociadas a la exposición ocupacional por radiación ionizante en tecnólogos médicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño de estudio

El presente proyecto de investigación es un estudio secundario, de tipo revisión de alcance (scoping review). El desarrollo metodológico siguió las directrices metodológicas del Instituto Joanna Briggs (22) y los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) (23). La pregunta de investigación se formuló mediante el marco PCC **(Anexo 1).**

3.2 Protocolo y registro

La presente revisión de alcance fue elaborada conforme a la Normativa Institucional de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (versión 01.00/06-05-2024) titulada "Normas y procedimientos para la elaboración, desarrollo, presentación, evaluación y publicación de trabajos de investigación y tesis". Antes de su implementación, el protocolo fue revisado en el Sistema Descentralizado de Información y Seguimiento a la Investigación (SIDISI), administrado por la Dirección Universitaria de Investigación, Ciencia y Tecnología (DUICT). El registro garantizó la trazabilidad del proyecto, obteniendo la aceptación de la Unidad de Gestión. Luego, el protocolo fue sometido a la evaluación y aprobación del Comité Institucional de Ética en Investigación (CIEI). Finalmente, el proyecto fue publicado en el repositorio institucional de acceso público del SIDISI.

3.3 Criterios de inclusión

- Estudios que incluyan a los T.M. y T.R. que participen en procedimientos de radiología intervencionista de hemodinamia, electrofisiología, neurorradiología y gastroenterología, realizados en pacientes de cualquier edad y sexo.

- Estudios que reporten consecuencias biológicas derivadas de la exposición ocupacional por radiación ionizante, a lo largo de la vida laboral, de los T.M. y T.R. que participan en procedimientos de radiología intervencionista.
- Estudios primarios y secundarios disponibles en texto completo, publicados en inglés, español y portugués, desde enero de 2012 hasta octubre de 2025, provenientes de cualquier ubicación geográfica.

3.4 Criterios de exclusión

- Estudios que evalúen exclusivamente pacientes y otros grupos ocupacionales, sin considerar a los T.M. y T.R.
- Estudios que describan simulaciones teóricas sin datos aplicables a los T.M. y T.R. que participan en otras modalidades de diagnóstico por imágenes, salvo que aporten datos relevantes en dosimetría.
- Estudios duplicados, sin acceso público, cartas al editor u opiniones sin análisis estructurado ni evidencia.

3.5 Definición operacional de variables

La operacionalización de las variables se estructuró en una matriz organizada por dominios y variables específicas, con sus respectivas definiciones conceptuales y operacionales. Se consideró la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos para orientar el análisis descriptivo de la evidencia **(Anexo 2).**

3.6 Fuentes de información

Para la presente revisión de alcance se realizó una búsqueda de literatura publicada desde enero de 2012 hasta octubre de 2025 en PubMed, LILACS, Scopus y Embase. Además, para cubrir la literatura gris, se realizó la búsqueda en Google Scholar y el repositorio ALICIA-CONCYTEC. Se estableció 2012 como fecha de inicio

debido a la publicación del Llamado a la Acción de Bonn (24), elaborado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3.7 Estrategias de búsqueda

La estrategia de búsqueda, detallada en el **Anexo 3**, fue adaptada para cada base de datos, utilizando combinaciones específicas de palabras clave y operadores booleanos (AND, OR). La formulación de la búsqueda se elaboró en base al marco PCC, empleando los Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS) y los Medical Subject Headings (MeSH). Para ello, en octubre de 2025, se realizó una búsqueda preliminar en la base de datos PubMed, empleando términos MeSH (p. ej. “Radiology [MeSH], "Interventional Radiology" [MeSH], "Cath Lab" [MeSH], "Ionizing Radiation" [MeSH], "Workers" [MeSH], "Radiation Exposure"[MeSH], "Occupational Exposure" [Mesh]).

3.8 Selección de fuentes de evidencia

En la presente revisión de alcance se identificó un total de 603 registros: 596 provenientes de bases de datos y Google Scholar: PubMed (n = 147), LILACS (n = 114), Scopus (n = 51), Embase (n = 184) y Google Scholar (n = 100); y 7 registros recuperados de literatura gris procedentes del repositorio ALICIA-Concytec.

Los 596 registros obtenidos de las bases de datos y Google Scholar fueron exportados en formato RIS y gestionados mediante la plataforma web Rayyan (versión gratuita), donde se realizó el proceso de cribado conforme al flujo PRISMA-ScR. En la primera fase de cribado, se detectaron 135 registros duplicados, los cuales fueron eliminados. Los dos investigadores (AC y KS) evaluaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los 461 registros. Se

excluyeron 394 por no cumplir los criterios de elegibilidad. En consecuencia, 67 registros fueron seleccionados para la evaluación de texto completo. Las discrepancias entre los investigadores fueron resueltas mediante consenso y, cuando persistieron diferencias, se recurrió a la asesora del proyecto (NAR) como tercera evaluadora para la decisión final.

Durante la evaluación de texto completo, se excluyeron 9 registros debido a la imposibilidad de acceder al texto completo. Posteriormente, se excluyeron 28 estudios por las siguientes razones: evaluación exclusiva de otros grupos ocupacionales o de pacientes (n = 7); simulaciones teóricas sin datos aplicables a los T.M. y T.R. (n = 12); estudios correspondientes a otras modalidades de diagnóstico por imágenes (n = 8); y publicación en idioma chino (n = 1). Como resultado, 30 estudios provenientes de esta búsqueda fueron considerados elegibles. En paralelo, los 7 registros identificados mediante ALICIA-CONCYTEC fueron evaluados de forma independiente según los criterios de elegibilidad, se excluyeron cinco publicaciones y se incorporaron dos estudios a la revisión. En total, 32 estudios cumplieron los criterios de inclusión y fueron incorporados en la síntesis de la presente revisión de alcance **(Anexo 4).**

3.9 Extracción y análisis de datos

La extracción de los datos de los estudios incluidos se realizó mediante una ficha estandarizada de Microsoft Excel 2019, diseñada de acuerdo con los objetivos del estudio y el marco PCC. El instrumento contempló cuatro categorías: características principales de los estudios incluidos (título, autores, año, país y diseño); población, concepto y contexto (factor conductual, organizacional, técnico y consecuencias biológicas); grupo ocupacional evaluado; y hallazgos principales.

3.10 Plan de análisis y presentación de resultados

Los datos extraídos fueron analizados de forma descriptiva, de acuerdo con las recomendaciones metodológicas del JBI y la declaración PRISMA-ScR. Se realizó una síntesis narrativa de las características principales de los estudios incluidos, los factores asociados (conductual, organizacional y técnico) y las consecuencias biológicas reportadas. Los resultados se presentaron en tablas de síntesis.

3.11 Aspectos éticos

El protocolo fue aceptado por la Unidad de Gestión el 24 de noviembre de 2025 y aprobado por el CIEI-UPCH el 02 de diciembre de 2025. Tras esas aprobaciones, se inició de la ejecución del presente estudio **(Anexo 5).**

IV. RESULTADOS

En la **Tabla 1** se presenta un resumen de las características principales de los 32 estudios incluidos en la revisión, publicados entre 2013 y 2025**.** Según la distribución geográfica, proceden principalmente de Estados Unidos (34,4 %), Corea del Sur (12,5 %) y estudios multinacionales (9,4 %). Los demás estudios se realizaron en Latinoamérica, Europa y Asia. Respecto al año de publicación, la mayor frecuencia se registró en 2024 y 2016, con cinco estudios por año. En la **Tabla 2** se presenta la distribución del nivel de evidencia, según la clasificación de Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM) (25,26). Del total de estudios revisados, 29 artículos corresponden a literatura académica (90,6 %) y 3 publicaciones a literatura gris (9,4 %). El nivel 4 de evidencia fue el más frecuente (59,4 %), con predominio de estudios transversales (34,4 %). Le siguió el nivel 2 (21,9 %), correspondiente a estudios de cohorte prospectivos y retrospectivos.

La **Tabla 3** resume la evidencia disponible sobre los factores conductuales. En relación con el uso de lentes plomados, Heo et al. (27) reportaron que el 50,3 % de los T.M. lo utilizan de manera regular. En contraste, Yun et al. (28) identificaron un uso del 90,2 %, mientras que Althawadi et al. (29) y O'Rourke et al. (30) registraron porcentajes del 100 % y el 99 %, respectivamente. De manera concordante, Andía-Correa (31) reportó un uso elevado del 93,6 % en los T.M. de un hospital público de Lima. Desde una perspectiva histórica, Lim et al. (32), en una cohorte de 12 571 T.R. de EE. UU., describieron una frecuencia de uso constante del mandil plomado de aproximadamente el 90 % durante las décadas evaluadas. Respecto al uso del protector tiroideo, Yun et al. (28) reportaron un uso del 80,4 %, mientras que Althawadi et al. (29) y O'Rourke et al. (30) identificaron

frecuencias del 95,6 % y el 92 %, respectivamente. Lim et al. (32) documentaron una mejora histórica en su uso en EE. UU., desde un 2 % antes de 1970 hasta un 43 % durante el período 2000-2009. Por su parte, Videira et al. (33), mediante un metaanálisis, estimaron una prevalencia global de uso del protector tiroideo en un 25 %. Papp et al. (34), en una muestra de 53 T.R. de Argentina sometidos a exámenes oftalmológicos mediante el método RELID, reportaron que entre los T.R. con opacidad del cristalino, 12 % utilizaban siempre los lentes plomados y el 61 % nunca; entre los T.R. sin opacidad del cristalino, el uso fue del 8 % y el 42 %, respectivamente. En Corea del Sur, Yun et al. (28) identificaron un uso del 18,7 % entre los T.M., mientras que Althawadi et al. (29) y O'Rourke et al. (30) reportaron un 2,2 % y el 10 %, respectivamente. Lim et al. (32) encontraron que los T.R. de EE. UU. mantenían una frecuencia de uso baja, del 5 %, incluso en décadas recientes. Asimismo, Velasquez et al. (35), en una cohorte de 35 751 T.R. de EE. UU., reportaron que solo 167 T.R. (0,47 %) habían utilizado lentes plomados alguna vez a lo largo de su vida laboral. En el contexto nacional, Andía-Correa (31) registró una frecuencia de uso de un 19,1 % entre los T.M. en un hospital público de Lima, mientras que Quispe-Correa (36) reportó que el 94 % de los T.R. con opacidades del cristalino utilizaban los lentes plomados de manera irregular o no los utilizaban durante los procedimientos intervencionistas.

La **Tabla 4** recoge la evidencia disponible sobre los factores organizacionales. Respecto a la vigilancia radiológica individual, Andía-Correa (31) reportó que la entrega del informe de lectura dosimétrica no es mensual, sino que se realiza bimestral o trimestral. En ese sentido, Yashima et al. (37) reportaron que el 61,9 % de los T.R. reciben su informe de lectura dosimétrica mensualmente. Por su parte,

Ribeiro et al. (38) recomendaron institucionalizar el uso de la doble dosimetría individual en intervencionismo, uno por debajo del mandil a nivel del pecho y otro por encima del mandil a nivel del cuello. Respecto a la carga laboral, Bernelli et al. (39) señalaron que el 78,1 % de los T.M. laboraba en hospitales con más de 500 procedimientos intervencionistas por año. Por su parte, Milder et al. (40), mediante un análisis histórico de 1980 a 2020 en una cohorte de 19 651 T.R. de EE. UU., identificaron una mayor frecuencia mensual de procedimientos en las cohortes más jóvenes. Respecto a la capacitación continua, Yashima et al. (37) reportaron que un 85,7 % de los T.R. manifestó dificultades para comprender la física de las radiaciones. Asimismo, en Italia, se evaluó el nivel de conocimiento de la normativa legal de protección radiológica durante el embarazo de las TOE entre los T.M. y médicos, resultando un 93,5 % y un 48,3 %, respectivamente. Finalmente, Germonpré et al. (41) identificaron la influencia social de sus pares, los T.M., y el liderazgo clínico de los médicos radiólogos jefes como determinante para el cumplimiento de técnicas de optimización de dosis, mientras que Moore (42) reportó que las acciones de liderazgo constituyen el mayor predictor de la percepción de seguridad radiológica institucional ($\beta = 0,402$; $p < 0,001$).

La **Tabla 5** recoge la evidencia disponible sobre los hallazgos principales relacionados con los factores técnicos. Respecto a la optimización de dosis, los estudios que reportaron dosis ocupacionales anuales describieron valores de aproximadamente 0,6 a 1,3 milisievert (mSv) por año. Tu et al. (43) reportaron 1,30 mSv, mientras que Sulieman et al. (44) reportaron 0,68 mSv en 2019 y 0,595 mSv en 2020. Estos estudios describieron medidas de optimización de la dosis, como la colimación, la filtración y el uso de frecuencias de 15 pulsos por segundo (FPS).

Por su parte, Uğrak et al. (45) evaluaron 2 804 procedimientos en cuatro hospitales de Turquía en los que la colimación se utilizó en el 2,6 % de los casos, frente al 60,6 % correspondiente al uso de la magnificación digital. Por su parte, Beckert et al. (46) analizaron 57 procedimientos de neurorradiología en los que se demostró que la implementación de protocolos de baja dosis en las tomas angiográficas por sustracción digital (DSA) logró reducir la radiación ambiental en un promedio del 23 %. Respecto a la geometría del equipo, Mohapatra et al. (47) analizaron 39 procedimientos FEVAR donde participó un T.R. de EE. UU. Se reportó que las proyecciones laterales incrementaron 1,39 veces la tasa máxima de dosis respecto a las posteroanteriores (IC del 95 %: 1,05-1,84), con una diferencia estadísticamente significativa entre las vistas laterales derechas e izquierdas (2,09 vs. 0,77; $p < 0,001$). Por su parte, Tamam N. et al. (48) señalaron que la dosis recibida por el TOE es mayor cuando se utilizan sistemas con el tubo de rayos X sobre la mesa (over couch) en comparación con los sistemas donde el tubo se ubica bajo la mesa (under couch).

La **Tabla 6** recoge la evidencia disponible sobre los hallazgos principales relacionados con las consecuencias biológicas. Primero, en relación con la exposición ocupacional al cristalino, Zett-Lobos C. et al. (49) aportaron datos dosimétricos obtenidos de dos dosímetros individuales de un T.M. que participó en 1 057 procedimientos en un hospital de Chile y que recibió una dosis mensual media en el cristalino de 2,10 mSv en la zona anterior de los lentes plomados, la cual se reduce a 1,01 mSv en la zona posterior. En este estudio, la dosis promedio por procedimiento fue de 14 μSv, lo que permitió estimar una exposición anual acumulada de 12,12 mSv. Los lentes plomados de 0,25 mm Pb usados por este T.M.

otorgan un grado de atenuación de la dosis del 52 % a la altura de los ojos. Por su parte, en EE. UU., Schueler B. et al. (50) señalaron que el 15 % de los T.R. que participaron en procedimientos intervencionistas excedía el límite de dosis anual de 20 mSv en el cristalino; mientras que Little et al. (51) y Little et al. (52) identificaron una asociación entre la dosis acumulada en el cristalino y la incidencia de cataratas, la cual se mantuvo estadísticamente significativa incluso para dosis inferiores a 100 miligray (mGy) ($p = 0,030$ y $p = 0,004$, respectivamente). Asimismo, se observó un mayor riesgo absoluto de cataratas en los T.R. con diabetes, con un EAR aproximadamente de 15,7 veces mayor que el de aquellos sin esta comorbilidad. Segundo, respecto a las neoplasias intracraneales malignas (gliomas), Orme et al. (53) analizaron las patologías reportadas en 548 T.R. de EE. UU., con una prevalencia de gliomas del 2 % ($p = 0,98$). Por su parte, Kitahara et al. (54), en una cohorte de 110 297 T.R. de EE. UU., señalaron que la dosis cerebral acumulada media fue de 12 mGy (rango de 0-290 mGy). El estudio identificó 193 muertes por gliomas y reportó un exceso de riesgo relativo (ERR) global de 0,1 por cada 100 mGy. En esa misma línea, Ko et al. (55) identificaron que entre los T.M. y T.R. con gliomas, hasta un 85 % se desarrollaron en el hemisferio izquierdo. Finalmente, Rajaraman et al. (56) analizaron una cohorte de 90 957 T.R. de EE. UU. y reportaron un aumento del 34 % en la incidencia de accidente cerebrovascular (stroke). En Corea del Sur, Lee et al.(57) y Lee et al. (58) evaluaron el riesgo de cáncer de tiroides entre 25 969 T.M. varones, señalando un riesgo atribuible de por vida (LAR) de desarrollar cualquier tipo de cáncer de 121 por cada 100 000 individuos y de 26,5 en la glándula tiroidea.

V. DISCUSIÓN

En relación con los factores conductuales, la evidencia muestra un marcado contraste en el uso de los medios de protección radiológica. El mandil plomado presentó un uso elevado en la mayoría de los estudios, superando el 90 % en diversos contextos internacionales y nacionales. En contraste, el protector tiroideo mostró un uso más heterogéneo entre los estudios, lo que evidencia una menor consistencia en la adopción de este medio de protección radiológica. La mayor discrepancia en la conducta se observó en el uso de los lentes plomados, cuyas frecuencias de uso fueron consistentemente bajas en diferentes países, incluyendo EE. UU., Corea del Sur y Perú. Papp et al. (34) observaron que la mayoría de los T.R. con opacidad del cristalino reportó un uso nulo o inconsistente de lentes plomados. En conjunto, estos hallazgos sugieren una brecha en las prácticas de protección radiológica de los T.M. y T.R., particularmente en relación con la protección ocular, en contraste con el uso del mandil plomado, con un uso elevado a lo largo de las últimas décadas. En relación con los factores organizacionales, la vigilancia radiológica individual constituye uno de los principales puntos de mejora identificados. Yashima et al. (37) reportaron que solo el 61,9 % de los T.R. de Japón recibía mensualmente el informe de su lectura dosimétrica, mientras que en Perú se han descrito frecuencias bimestrales o trimestrales. Esta periodicidad limitada podría reducir la utilidad de la dosimetría como herramienta de retroalimentación para los T.M. y T.R., al dificultar la identificación de patrones de exposición ocupacional que requieran medidas correctivas. Asimismo, podría limitar la capacidad del oficial de protección radiológica (OPR) para detectar oportunamente prácticas que incrementen la exposición ocupacional en los servicios de radiología

intervencionista. En cuanto a la carga laboral, los estudios describieron turnos prolongados, elevada demanda asistencial y una mayor frecuencia mensual de procedimientos en determinadas cohortes. Aunque estos resultados no permiten establecer una relación causal entre carga laboral y dosis ocupacional, sugieren que una mayor frecuencia de participación en procedimientos intervencionistas podría incrementar la exposición a radiación dispersa. Respecto a la capacitación continua, Yashima et al. (37) identificaron que un 85,7 % de los T.R. manifestó dificultades para comprender la física de las radiaciones, pese a que las instituciones de salud tienen la obligación legal de ofrecer capacitación continua y periódica en protección radiológica. Este hallazgo sugiere que la formación continua en protección radiológica no debería centrarse solo en su periodicidad, sino también en la incorporación de contenidos aplicados al contexto clínico de los procedimientos intervencionistas de la institución. En relación con los factores técnicos, la evidencia señala que la optimización de los parámetros de adquisición constituye un componente relevante para reducir la exposición ocupacional. Uğrak et al. (45) identificaron un uso más frecuente de la magnificación digital (60,6 %) frente a la colimación (2,6 %), mientras que otros estudios reportaron la aplicación de colimación, filtración y frecuencias de 15 pulsos por segundo (FPS). Este patrón evidencia una aplicación heterogénea de estrategias de optimización de dosis y podría representar una oportunidad para fortalecer su uso sistemático durante los procedimientos intervencionistas. Respecto a la geometría del equipo y la posición espacial del operador, Mohapatra et al. (47) observaron que las proyecciones laterales incrementaron la tasa máxima de dosis respecto de las posteroanteriores, con mayores valores en las proyecciones laterales derechas. De manera

complementaria, Tamam et al. (48) reportaron mayor exposición ocupacional con sistemas over couch frente al under couch. Estos hallazgos resaltan la importancia de la participación del T.M. y T.R. en la optimización de la dosis durante los procedimientos intervencionistas a través de una adecuada angulación del arco en C, para una distribución homogénea de la dosis durante la fluoroscopia. Respecto a las consecuencias biológicas, el cristalino constituye uno de los órganos de mayor preocupación frente a la exposición ocupacional en los T.M. y T.R. que participan en procedimientos de radiología intervencionista. Little et al. (51) y Little et al. (52) identificaron una asociación entre la dosis acumulada en el cristalino y la incidencia de cataratas, la cual permaneció estadísticamente significativa incluso para dosis acumuladas inferiores a 100 mGy. Asimismo, la diabetes se identificó como un importante modificador del riesgo, con un riesgo aditivo excedente aproximadamente 15,7 veces mayor en los T.R. con esta morbilidad. Estos hallazgos adquieren particular relevancia al contrastarse con el marco regulatorio nacional y las recomendaciones internacionales de protección radiológica. Por ello, es importante diferenciar los valores identificados en los estudios con los límites establecidos: 100 mGy corresponden a la dosis acumulada absorbida en el cristalino, mientras que 20 mSv corresponden a límites de dosis equivalentes. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) redujo el límite de dosis equivalente para el cristalino de 150 mSv/año a 20 mSv/año promediado durante cinco años, sin superar 50 mSv en un único año, como respuesta a la evidencia sobre la mayor radiosensibilidad del cristalino (59,60) En la Norma Técnica IR.003.2013 (61), el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), la Autoridad Nacional del Perú, establece que durante los procedimientos intervencionistas el operador y los

TOE presentes deben utilizar los medios de protección radiológica y cumplir con los procedimientos de vigilancia radiológica individual mediante el dosímetro individual, pero no necesariamente implica el uso rutinario de un dosímetro Hp(3) para el cristalino. Sin embargo, el marco regulatorio que contemplaba un límite de 150 mSv/año para la dosis equivalente del cristalino no incorporaba la reducción recomendada posteriormente por la ICRP a 20 mSv/año. Posteriormente, el IPEN publicó el proyecto de la Norma Técnica IR.003.2024 (62) que proponía incorporar nuevas disposiciones específicas para radiología intervencionista, incluyendo el uso de lentes plomados para la protección ocular y la doble dosimetría del TOE. Además, establece criterios para revisar las medidas de protección radiológica cuando se alcanzan determinados niveles de dosis en el cristalino. En consecuencia, resulta pertinente continuar actualizando la normativa vigente para estandarizar los criterios de evaluación del cumplimiento de los requisitos de protección radiológica en la práctica clínica diaria de los servicios de radiología intervencionista a nivel nacional, en consonancia con las recomendaciones de los organismos internacionales. La ICRP recomienda que, para el TOE que participa en procedimientos intervencionistas, se incluya la estimación de la dosis equivalente al cristalino y señala que el dosímetro ubicado sobre el mandil plomado a nivel del cuello puede proporcionar una estimación razonable de dicha dosis, aunque pueden requerirse métodos específicos en procedimientos de mayor exposición. Por ello, se recomienda que los OPR fortalezcan la vigilancia radiológica individual del cristalino de los T.M. y T.R., con énfasis en aquellos que laboran en instituciones de salud con una alta carga de procedimientos intervencionistas. Asimismo, la protección ocular debe considerar no solo la atenuación frontal, sino también la

radiación dispersa incidente desde los laterales. Por ello, el uso de lentes plomados con protección lateral constituye una medida pertinente para reducir la exposición ocupacional del cristalino del TOE que participa en procedimientos intervencionistas a lo largo de su vida laboral. Este aspecto resulta pertinente ante los bajos niveles de uso de este medio de protección radiológica identificados en la presente revisión. En relación con los efectos estocásticos del sistema nervioso central, Ko et al. (55) reportaron que entre los T.M. y T.R. con gliomas, hasta un 85 % se desarrollaron en el hemisferio izquierdo. Esta predominancia anatómica podría plantear la hipótesis de una posible relación con la ubicación espacial del operador durante la fluoroscopia; sin embargo, la evidencia disponible no permite establecer una relación causal directa y su interpretación requiere estudios epidemiológicos que integren información de la dosimetría individual y un seguimiento prolongado.

El presente estudio presenta limitaciones. Primero, debido a su diseño de revisión de alcance, la evidencia fue mapeada sin realizar una síntesis cuantitativa ni una evaluación crítica de la calidad de los resultados de los estudios incluidos. Además, la identificación de algunos factores conductuales y organizacionales dependió de instrumentos de autorreporte. Segundo, la restricción de la búsqueda a publicaciones en inglés, español y portugués, así como el uso de Google Scholar, pudo introducir sesgo de idioma y de selección. Finalmente, la concentración de la evidencia en países de ingresos altos limita la generalización de los hallazgos a países de ingresos medios y bajos.

En conjunto, la evidencia sugiere que la exposición ocupacional no depende exclusivamente de la radiación generada durante la fluoroscopia, sino también de

la interacción entre la conducta individual del operador, la aplicación de estrategias de optimización de dosis y la cultura organizacional del equipo multidisciplinario que participa en procedimientos de radiología intervencionista respecto a la protección radiológica. Entre los hallazgos identificados, la protección ocular del cristalino constituye una preocupación relevante debido a la baja frecuencia de uso de lentes plomados y a la evidencia disponible sobre su asociación con el riesgo de desarrollar opacidad del cristalino. Asimismo, se identificaron hallazgos relacionados con posibles efectos en el sistema nervioso central, aunque con una evidencia aún limitada y sin establecer causalidad. En este contexto, resulta pertinente fortalecer estrategias integrales de protección radiológica que articulen el uso de medios de protección radiológica, la vigilancia radiológica individual, la capacitación continua y la optimización de la dosis a través de los parámetros técnicos del equipo, especialmente ante las brechas de evidencia identificadas en Latinoamérica y en nuestro país.

VI. CONCLUSIONES

La presente revisión de alcance permitió mapear la evidencia disponible sobre los factores asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante en los tecnólogos médicos en radiología y técnicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista, agrupados en factores conductuales, organizacionales y técnicos. El factor conductual fue el más representado entre los estudios de literatura académica y gris incluidos en la revisión. Asimismo, se observó una marcada heterogeneidad metodológica, con predominio de estudios transversales (34,4 %) realizados principalmente en países de ingresos altos.

Respecto al factor conductual, el uso del mandil plomado fue elevado (90–100 %); sin embargo, la evidencia sugiere una posible asociación entre la baja frecuencia de uso de los lentes plomados (<20 %) y el riesgo de desarrollar opacidad del cristalino, incluso a dosis acumuladas inferiores a 100 mGy.

En relación con las consecuencias biológicas, la evidencia disponible mostró un predominio de gliomas en el hemisferio cerebral izquierdo, hasta el 85 % de los casos reportados. Este hallazgo plantea una posible hipótesis relacionada con la ubicación espacial del operador durante la fluoroscopia, debido a la mayor exposición del hemicuerpo izquierdo respecto al tubo de rayos X; sin embargo, la evidencia disponible no permite establecer una asociación causal y se requieren estudios con evaluación dosimétrica individual y seguimiento prolongado.

Con base en la evidencia identificada, se recomienda fortalecer una cultura de seguridad radiológica mediante el liderazgo y participación activa de los T.M. y T.R., como miembros fundamentales del equipo multidisciplinario. Asimismo, se recomienda reforzar el uso de los medios de protección radiológica, con énfasis en

los lentes plomados con protección lateral. También se recomienda fortalecer los programas de capacitación continua en protección radiológica, con contenidos aplicados a la física de las radiaciones y parámetros técnicos de optimización de la dosis según las características particulares de los procedimientos intervencionistas realizados en la institución. Asimismo, se debe fortalecer la vigilancia radiológica individual mediante la comunicación a los T.M. y T.R. sobre los reportes de sus lecturas dosimétricas, con una periodicidad regular y oportuna, que sirva también de herramienta para el OPR en la detección oportuna de prácticas que incrementen la exposición ocupacional en los servicios de radiología intervencionista.

Finalmente, se recomienda desarrollar estudios primarios que evalúen la posibilidad de una asociación entre el bajo uso de lentes plomados y el desarrollo de opacidad del cristalino en este grupo ocupacional, contribuyendo a reducir la brecha de evidencia existente en países de ingresos medios y bajos, particularmente en Latinoamérica. La evidencia generada podría servir como soporte para la actualización de las normativas técnicas de salud nacionales relacionadas con la protección radiológica en procedimientos de radiología intervencionista guiados por fluoroscopia, para estandarizar los requisitos de protección radiológica y apoyar en la toma de decisiones basadas en evidencia científica en la práctica clínica diaria.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Siewert B, Brook OR, Mullins MM, Eisenberg RL, Kruskal JB. Practice Policy and Quality Initiatives: Strategies for Optimizing Staff Safety in a Radiology Department. Radiographics. 2013;33(1):245–261. doi:10.1148/rg.331125174

2. Miller DL, Vañó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. Cardiovas Intervent Radiol. 2010; 33(2):230–239. doi:10.1007/s00270-009-9756-7.

3. International Commission on Radiological Protection. Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. ICRP Publication 139. Ann ICRP [Internet]. 2018 [citado 2 de marzo de 2026]; 47(2): 69–84. Disponible en: https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20139

4. Chida K, Takahashi T, Ito D, Shimura H, Takeda K, Zuguchi M, et al. Clarifying and Visualizing Sources of Staff-Received Scattered Radiation in Interventional Procedures. AJR Am J Roentgenol. 2011; 197(5): W900–W903. doi:10.2214/AJR.10.6396.

5. Jaschke W, Bartal G, Martin CJ, Vañó E. Unintended and Accidental Exposures, Significant Dose Events and Trigger Levels in Interventional Radiology. Cardiovasc Intervent Radiol. 2020; 43(8): 1114–1121. doi:10.1007/s00270-020-02517-2.

6. Baudin C, Vacquier B, Thin G, Chenene L, Guersen J, Partarrieu I, et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: trends during the 2009–2019 period in a multicentric study. Eur Radiol. 2023; 33(8): 5675–5684. doi:10.1007/s00330-023-09541-z.

7. Williams H, Widdowfield M, Cosson P. The Radiographer's multidisciplinary team role in theatre scenarios. Radiography. 2014;21(2):165–71. doi:10.1016/j.radi.2014.10.003

8. Bartal G, Vano E, Paulo G, Miller DL. Management of Patient and Staff Radiation Dose in Interventional Radiology: Current Concepts. Cardiovas Intervent Radiol. 2014;37(2):289–298. doi:10.1007/s00270-013-0685-0.

9. Silva GJ, Seminario E, Chero ZS, Montalvo RM, Ramírez R, Madueño JK. Desempeño de los Tecnólogos Médicos como Oficiales de Protección Radiológica - 2021. J Health Med Sci. 2022; 5:63–72.

10. Saad Almehmadi M, Awadh Aljabri M, Aesh Aljabri E, Soud AlWahbi Y, Khalil Olfat R, Ayed Alahmadi M, et al. The Role of Radiology Technologists in Enhancing Diagnostic Accuracy and Patient Care. J Int Crisis Risk Commun Res. 2024; 3112–3120. doi:10.63278/JICRCR.VI.2346

11. International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2–4):1–332. doi:10.1016/j.icrp.2007.10.003.

12. McNulty JP, England A, Shanahan MC. International perspectives on radiography practice education. Radiography (Lond). 2021; 27(4): 1044–1051. doi:10.1016/j.radi.2021.04.004.

13. Rincón Gayán L, Alfayate Sáez E. Repositorio mundial de Universidades: Grado Universitario en la profesión Radiographer [Internet]. 2025 [citado el 10 de marzo 2026]. Disponible en: https://www.segra-radiologia.com/media/0ctds2nh/repositorio-de-universidades_grado-universitario_-radiographer-final.pdf

14. Garg T, Shrigiriwar A. Radiation Protection in Interventional Radiology. Indian J Radiol Imaging. 2021;31(4):939–945. doi:10.1055/s-0041-1741049.

15. Oseni AO, Chun JY, Morgan R, Ratnam L. Dealing with complications in interventional radiology. CVIR Endovasc. 2024 7(1):32. doi:10.1186/s42155-024-00442-w.

16. Yoshinaga S, Mabuchi K, Sigurdson AJ, Doody MM, Ron E. Cancer Risks among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies. Radiology. 2004;233(2):313–321. doi:10.1148/radiol.2332031119.

17. Kaatsch HL, Schneider J, Brockmann C, Brockmann MA, Overhoff D, Becker BV, et al. Radiation exposure during angiographic interventions in interventional radiology–risk and fate of advanced procedures. Int J Radiat Biol. 2022;98(5):865–872. doi:10.1080/09553002.2021.2020362.

18. Lee WJ, Bang YJ, Cha ES, Kim YM, Cho SB. Lifetime cancer risks from occupational radiation exposure among workers at interventional radiology departments. Int Arch Occup Eviron Health. 2021; 94(1): 139-145. doi:10.1007/s00420-020-01569-8.

19. Qu H, He C, Xu H, Ren X, Sun X, Xu Y. Occupational radiation exposure and risk of thyroid cancer: a meta-analysis of cohort studies. Oncol Lett. 2024;28(3):1–6. doi:10.3892/ol.2024.14570.

20. Ohno S, Shindo R, Konta S, Yamamoto K. Radiation Exposure to the Brains of Interventional Radiology Staff: A Phantom Study. Bioengineering (Basel). 2024; 11(11):1083. doi:10.3390/bioengineering11111083.

21. Parikh JR, Geise RA, Bluth EI, Bender CE, Sze G, Jones AK, et al. Potential Radiation-Related Effects on Radiologists. AJR Am J Roentgenol. 2017;208(3):595–602. doi:10.2214/AJR.16.17212.

22. Peters MDJ, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Tricco AC. Scoping reviews. JBI Manual for Evidence Synthesis. 2024. doi:10.46658/jbimes-24-09.

23. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. Ann Intern Med. 2018;169(7):467–473. doi:10.7326/M18-0850.

24. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Bonn Call for Action: 10 Actions to Improve Radiation Protection in Medicine in the Next Decade [Internet]. Vienna: IAEA; 2012. Disponible en: https://www.who.int/publications/m/item/bonn-call-for-action

25. Centre for Evidence-Based Medicine. OCEBM Levels of Evidence [Internet]. Oxford: University of Oxford; [citado el 15 marzo de 2026]. Disponible en: https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence/ocebm-levels-of-evidence

26. García-Villar C, Plasencia-Martínez JM, Gutiérrez-Amares MT. Inter-observer agreement on levels of evidence in radiology articles. Radiol Engl Ed. 2023;65(6):573–576. doi:10.1016/j.rxeng.2023.08.001.

27. Heo Y, Chun H, Kang S, Lee W, Jang T, Park J. Relating factors to wearing personal radiation protectors among healthcare professionals. Ann Occup Environ Med. 2016; 28(1): 60. doi:10.1186/S40557-016-0144-X.

28. Yun JW, Cha ES, Ko S, Lee WJ. Work practices and radiation exposure among male radiologic technologists assisting fluoroscopically guided interventional procedures. Radiat Prot Dosimetry. 2017;176(4):418–424. doi:10.1093/RPD/NCX026.

29. Althawadi N, Abuzaid M, Elshami W. Comprehensive analysis of occupational radiation exposure and radiation safety practices in cardiac catheterization laboratories: A five-year experience. Radiat Phys Chem. 2024; 223:111883. doi:10.1016/J.RADPHYSCHEM.2024.111883.

30. O'Rourke M, Moore N, Young R, Svetlic S, Bucknall H, McEntee MF, et al. An investigation into the knowledge, attitudes, and practice of radiation protection in interventional radiology and cardiac catheter-laboratories. J Med Imaging Radiat Sci. 2024;55(3):101440. doi:10.1016/j.jmir.2024.101440.

31. Andía Correa VD. Uso de medidas de protección radiológica en tecnólogos médicos del servicio de radiodiagnóstico del Hospital Nacional Edgardo Rebagliati Martins [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Alas Peruanas, Escuela Profesional de Tecnología Médica; 2017. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12990/4864

32. Lim H, Linet MS, Dyke ME Van, Miller DL, Simon SL, Sigurdson AJ, et al. Changing Patterns in the Performance of Fluoroscopically Guided Interventional Procedures and Adherence to Radiation Safety Practices in a U.S. Cohort of Radiologic Technologists. AJR Am J Roentgenol. 2016;207(6):1350–1359. doi:10.2214/AJR.15.15979.

33. Videira S, Rodrigues M, Santos J, Guedes J, Martins J, Vieira da Silva M. Prevalence of the use of dosimeters for ionizing radiation from fluoroscopy: a systematic literature review and meta-analysis. Phys Med. 2025;136. doi:10.1016/J.EJMP.2025.105037.

34. Papp C, Romano-Miller M, Descalzo A, Michelin S, Molinari A, Rossini A, et al. Results of RELID study 2014—Buenos Aires, Argentina retrospective evaluation of lens injuries and dose. Radiat Prot Dosimetry. 2016;173(1–3):212–217. doi:10.1093/RPD/NCW339.

35. Velazquez-Kronen R, Borrego D, Gilbert ES, Miller DL, Moysich KB, Freudenheim JL, et al. Cataract risk in US radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures: a retrospective cohort study. Occup Environ Med. 2019;76(5):317–325. doi:10.1136/OEMED-2018-105360.

36. Quispe Palacios AJK. Efectividad de lentes plomados en la reducción de la dosis de radiación sobre el cristalino en profesionales del área de intervencionismo: Una revisión narrativa [tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina, Escuela Profesional de Tecnología Médica; 2025. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12672/27850

37. Yashima, Chida K. Awareness of Medical Radiologic Technologists of Ionizing Radiation and Radiation Protection. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(1):497. doi:10.3390/IJERPH20010497.

38. Ribeiro D, Brochado B, Paulo G, Vinhas H, Jorge E, Felício A, et al. Radiation protection practices in diagnostic and interventional cardiology: A position paper from the Portuguese Association of Interventional Cardiology. Rev Port Cardiol. 2025;44(12):737–745. doi:10.1016/J.REPC.2025.07.006.

39. Bernelli C, Di Fusco SA, Matteucci A, Zilio F, Nesti M, Barbero U, et al. Working in interventional cardiology laboratories: The perceived impact of radiation exposure as a health and gender hazard. A NEXT generation ANMCO initiative. Int J Cardiol. 2024; 401:131682. doi:10.1016/j.ijcard.2023.131682.

40. Milder CM, Borrego D, Preston DL, Villoing D, Kwon TE, Miller DL, et al. Occupational Radiation Dose Trends in U.S. Radiologic Technologists Assisting with Fluoroscopically Guided Interventional Procedures, 1980–2020. J Vasc Interv Radiol. 2024;35(7):1057-1065.e4. doi:10.1016/j.jvir.2024.03.032.

41. Germonpré S, Gemmel P, Beeckman D. Determinants of using (non-) fluoroscopy-guided positioning for radiographs: case study research. J Radiol Prot. 2016;36(3):667-683. doi:10.1088/0952-4746/36/3/667.

42. Moore QT. Radiation Actions and Dimensions of Radiation Safety Among U.S. Radiologic Technologists. [tesis doctoral] [Internet]. DeKalb (IL): Northern Illinois University; 2020 [citado el 9 abril de 2026]. Disponible en: https://huskiecommons.lib.niu.edu/allgraduate-thesesdissertations/7469

43. Tu CY, Lin CJ, Yang BH, Wu J. Cardiac catheterization real-time dynamic radiation dose measurement to estimate lifetime attributable risk of cancer. PLoS One. 2020;15(6):e0234461. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0234461.

44. Sulieman A, Mahgoub O, Salah H, Tamam N, Taha A, Dawood S, et al. Assessment of patient and occupational exposure and radiation risk from cath-lab procedure. Appl Radiat Isot. 2023;202:111071. doi:10.1016/J.APRADISO.2023.111071.

45. Uğrak U, Uzkar Y, Düzen İ, Acar T, Karabey E, Durmaz G. Evaluation of Procedure Doses and Staff Attitudes in Interventional Cardiology in Terms of Radiation Safety. Turk Kardiyol Dern Ars. 2024;52(4):260–268. doi:10.5543/TKDA.2024.18363.

46. Beckert A, Kloth C, Kretschmer A. Occupational radiation exposure of radiologic technologists in interventional neuroradiology. Neuroradiology. 2025;67(11):3325–3334. doi:10.1007/S00234-025-03807-7.

47. Mohapatra A, Greenberg RK, Mastracci TM, Eagleton MJ, Thornsberry B. Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures. J Vasc Surg. 2013;58(3):702–709. doi:10.1016/j.jvs.2013.02.032.

48. Tamam N, Salah H, Almogren KS, Mahgoub O, Saeed MK, Abdullah Y, et al. Evaluation of patients' and occupational radiation risk dose during conventional and interventional radiology procedures. Radiat Phys Chem. 2023;207:110818. doi:10.1016/J.RADPHYSCHEM.2023.110818.

49. Zett-Lobos C, Vera-Muñoz F, Arriola-Alvarez K, Díaz-Ramos O, Gamarra J, Fernández-Palomo C, et al. ¿Es suficiente la protección otorgada por gafas plomadas en cardiología intervencionista? Rev Med Chil. 2013;141(1):63–69. doi:10.4067/S0034-98872013000100009.

50. Schueler BA, Fetterly KA. Eye protection in interventional procedures. Br J Radiol. 2021;94(1126):20210436. doi:10.1259/BJR.20210436/7477324.

51. Little MP, Kitahara CM, Cahoon EK, Bernier MO, Velazquez-Kronen R, Doody MM, et al. Occupational radiation exposure and risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. Eur J Epidemiol. 2018;33(12). doi:10.1007/S10654-018-0435-3.

52. Little MP, Cahoon EK, Kitahara CM, Simon SL, Hamada N, Linet MS. Occupational radiation exposure and excess additive risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. Occup Environ Med. 2020;77(1):1–8. doi:10.1136/OEMED-2019-105902.

53. Orme NM, Rihal CS, Gulati R, Holmes DR, Lennon RJ, Lewis BR, et al. Occupational Health Hazards of Working in the Interventional Laboratory: A Multisite Case-Control Study of Physicians and Allied Staff. J Am Coll Cardiol. 2015;65(8):820–826. doi:10.1016/J.JACC.2014.11.056.

54. Kitahara CM, Linet MS, Balter S, Miller DL, Rajaraman P, Cahoon EK, et al. Occupational Radiation Exposure and Deaths from Malignant Intracranial Neoplasms

of the Brain and CNS in U.S. Radiologic Technologists, 1983–2012. AJR Am J Roentgenol. 2017;208(6):1278–1284. doi:10.2214/AJR.16.16964.

55. Ko S, Kang S, Ha M, Kim J, Jun JK, Kong KA, et al. Health Effects from Occupational Radiation Exposure among Fluoroscopy-Guided Interventional Medical Workers: A Systematic Review. Journal of Vascular and Interventional Radiology. 2017;29(3):353–366. doi:10.1016/j.jvir.2017.10.008.

56. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, et al. Incidence and mortality risks for circulatory diseases in US radiologic technologists who worked with fluoroscopically guided interventional procedures, 1994–2008. Occup Environ Med. 2016;73(1):21–27. doi:10.1136/OEMED-2015-102888.

57. Lee WJ, Preston DL, Cha ES, Ko S, Lim H. Thyroid cancer risks among medical radiation workers in South Korea, 1996–2015. Environ Health. 2019; 18(1):19. doi:10.1186/S12940-019-0460-Z.

58. Lee WJ, Bang YJ, Cha ES, Kim YM, Cho SB. Lifetime cancer risks from occupational radiation exposure among workers at interventional radiology departments. Int Arch Occup Eviron Health. 2021;94(1): 139-145. doi:10.1007/S00420-020-01569-8.

59. International Commission on Radiological Protection. ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs: Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann ICRP. 2012;41(1-2):1-322. https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118

60. Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. J Radiat Res. 2014;55(4):629–640. doi:10.1093/JRR/RRU019.

61. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Norma Técnica IR.003.2013: Requisitos de Protección Radiológica en Diagnóstico Médico con Rayos X. Resolución de Presidencia N° 123-13-IPEN/PRES [Internet]. Lima: IPEN; 2013 [citado el 20 de agosto de 2026]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/ipen/informes-publicaciones/7819711-normativa-tecnica

62. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Norma IR.003.2024: Requisitos de Protección Radiológica en Diagnóstico Médico con Equipos de Rayos X [Internet]. Lima: IPEN; 2024 [citado el 20 de agosto de 2026]. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/ipen/normas-legales/5617371-033-2024-ipen-pres

VIII. TABLAS

Tabla 1. *Características principales de los estudios incluidos en la revisión*

N°	Autor y año	País	Diseño del estudio	Población del estudio	Factor asociado o consecuencia biológica reportada
1	Zett-Lobos C. et al. (2013)	Chile	Estudio clínico prospectivo; sistema DoseAware.	1 T.M. (tecnólogo médico) involucrado en 1 057 procedimientos durante 9 meses.	Opacidad del cristalino
2	AM. Mohapatra et al. (2013)	EE. UU.	Estudio observacional prospectivo.	1 T.R. (radiologic technologist) involucrado en 39 procedimientos FEVAR.	Geometría del equipo
3	Orme N. et al. (2015)	EE. UU.	Estudio de casos y controles.	548 T.R. (radiologic technologists y technicians).	Glioma
4	Germonpré S. et al. (2016)	Bélgica	Estudio transversal; encuesta online.	29 T.M. (radiographers).	Cultura organizacional
5	Rajaraman P. et al. (2016)	EE. UU.	Estudio de cohorte prospectivo.	90 957 T.R. (radiologic technologists), de los cuales 63 482 pasaron al grupo de incidencia a los 5 años.	Riesgo de stroke
6	C. Papp et al. (2016)	Argentina	Estudio observacional retrospectivo; método RELID.	53 T.R. (técnicos).	Uso de lentes plomados
7	Heo Y. et al. (2016)	Corea del Sur	Estudio transversal; encuesta online.	7 198 T.M. (radiologic technologists).	Uso de mandil plomado
8	Lim H. et al. (2016)	EE. UU.	Estudio transversal; encuesta online.	12 571 T.R. (radiologic technologists).	Uso de mandil y lentes plomados
9	Kitahara C. et al. (2017)	EE. UU.	Estudio de cohorte prospectivo.	110 297 T.R. (radiologic technologists).	Glioma
10	Andía-Correa (2017)	Perú	Estudio transversal; encuesta online (tesis de pregrado).	47 T.M. (tecnólogos médicos en radiología), 33 varones y 14 mujeres.	Vigilancia radiológica individual y uso de medios de protección radiológica
11	Yun J. et al. (2017)	Corea del Sur	Estudio transversal; encuesta online.	8 058 T.M. (radiologic technologists).	Uso de mandil y lentes plomados
12	Ko S. et al. (2017)	Multinacional	Revisión sistemática.	Revisión que incluyó 34 estudios con T.R. y T.M.	Opacidad del cristalino y glioma
13	Little M. et al. (2018)	EE. UU.	Estudio de cohorte prospectivo.	67 246 T.R. (radiologic technologists).	Opacidad del cristalino
14	Velazquez-Kronen R. et al. (2019)	EE. UU.	Estudio de cohorte retrospectivo.	35 751 T.R. (radiologic technologists).	Uso de lentes plomados
15	Lee W. et al. (2019)(57)	Corea del Sur	Estudio de cohorte retrospectivo.	25 969 T.M. (radiologic technologists).	Cáncer de tiroides

16	Tu C. et al. (2020)	Taiwán	Estudio transversal; medición con dosímetro electrónico (EPD).	5 T.R. (assistant operators) involucrados en 71 procedimientos.	Optimización de la dosis
17	Little M. et al. (2020)	EE. UU.	Estudio de cohorte prospectivo.	63 352 T.R. (radiologic technologists).	Opacidad del cristalino
18	Lee W. et al. (2020)	Corea del Sur	Estudio transversal; encuesta con datos del registro nacional de dosis y programa RadRAT.	13 T.M. varones (male radiologic technologists).	Cáncer de tiroides y glioma
19	Moore Q. (2020)	EE. UU.	Estudio transversal; tesis doctoral.	425 T.R. (radiologic technologists).	Carga laboral
20	Schueler B. et al. (2021)	EE. UU.	Revisión narrativa.	T.R.	Opacidad del cristalino
21	Sulieman A. et al. (2023)	Arabia Saudita	Estudio observacional retrospectivo; dosimetría OSL trimestral.	2 T.R. (X-ray technologists).	Optimización de la dosis
22	Yashima et al. (2023)	Japón	Estudio transversal; encuesta online.	42 T.R. varones (medical radiologic technologists).	Capacitación continua y vigilancia radiológica individual
23	Tamam N. et al. (2023)	Arabia Saudita	Estudio observacional prospectivo; uso de dosímetros OSL.	38 T.R. (technologists).	Geometría del equipo
24	Althawadi N. et al. (2024)	Baréin	Metodología mixta; retrospectivo (dosis HIS) y transversal (encuesta).	18 T.R. (radiographers).	Vigilancia radiológica individual y uso de medios de protección radiológica
25	Milder C. et al. (2024)	EE. UU.	Estudio de cohorte retrospectivo	19 651 T.R. (radiologic technologists).	Vigilancia radiológica individual y carga laboral
26	O'Rourke M. et al. (2024)	Multinacional	Estudio transversal; encuesta online.	97 T.M. y T.R. (radiographers).	Uso de medios de protección radiológica
27	Uğrak U. et al. (2024)	Turquía	Estudio observacional retrospectivo; análisis de kerma acumulado en aire.	26 T.R. (radiology technicians) que participaron en 2 804 procedimientos durante 3 meses.	Optimización de la dosis
28	Bernelli C. et al. (2024)	Italia	Estudio transversal; encuesta online.	18 T.M. (radiology technologists).	Capacitación continua y carga laboral
29	Beckert A. et al. (2025)	Alemania	Estudio observacional prospectivo.	T.M. (Radiologic technologists) que participaron en 57 procedimientos de neurorradiología en un mes.	Optimización de la dosis
30	Videira et al. (2025)	Multinacional	Revisión sistemática y metaanálisis.	460 T.M. y T.R. (radiologic technologists y technicians), incluidos en 9 estudios.	Uso de protector tiroideo
31	Ribeiro D. et al. (2025)	Portugal	Documento de posición.	T.M.	Capacitación continua y vigilancia radiológica individual
32	Quispe Palacios, A. (2025)	Perú	Revisión narrativa (tesis de pregrado).	11 estudios incluidos, incluyendo T.M. y T.R.	Uso de lentes plomados

Tabla 2. *Distribución del nivel de evidencia de los estudios incluidos*

Nivel de evidencia (%)	Diseño de estudio	N° de estudios	% del total
Nivel 1 (6,2 %)	Revisión sistemática y metaanálisis	1	3,1 %
	Revisión sistemática	1	3,1 %
Nivel 2 (21,9 %)	Estudio de cohorte prospectivo	4	12,5 %
	Estudio de cohorte retrospectivo	3	9,4 %
Nivel 3 (3,1 %)	Estudio de casos y controles	1	3,1 %
Nivel 4 (59,4 %)	Estudio observacional prospectivo	4	12,5 %
	Estudio observacional retrospectivo	3	9,4 %
	Estudio de metodología mixta (retrospectivo y transversal)	1	3,1 %
	Estudio transversal	11	34,4 %
Nivel 5 (9,4 %)	Documento de posición	1	3,1 %
	Revisión narrativa	2	6,3 %

Tabla 3. *Factor conductual asociado a la exposición ocupacional por radiación ionizante*

N°	Autores y Año	Factor conductual reportado	Principales Hallazgos
1	C. Papp et al. (2016)	Uso de lentes plomados	• T.R. con opacidad en el cristalino, el 12 % usa "siempre" lentes plomados, y el 61 % admite no usarlos nunca. T.R. sin opacidad en el cristalino, solo el 8 % usa "siempre" lentes plomados y el 42 % admite no usarlos nunca.
2	Heo Y. et al. (2016)	Uso de lentes plomados	• La tasa de uso del mandil plomado es de un 50,3 %.
3	Lim H. et al. (2016)	Uso de medios de protección radiológica	• En cada periodo, hubo un uso constante del mandil plomado (90 %). Sin embargo, solo un 5 % informó haber usado de forma constante los lentes plomados, incluso en los periodos más recientes.
4	Andía-Correa (2017)	Uso de medios de protección radiológica, dosímetro individual y distancia respecto al tubo	• El 93,6 % reportó usar el mandil plomado, pero solo el 19,1 % de T.M. usan los lentes plomados. El 100 % porta dosímetro individual durante la jornada laboral. El 61,7 % guarda distancia menor a 2 metros respecto al tubo de rayos X.
5	Yun J. et al. (2017)	Uso de medios de protección radiológica	• De los T.M. que participan de procedimientos intervencionistas, un 90,2 % reportaron usar el mandil plomado, un 80,4 % usan protector tiroideo, solo el 18,7 % lentes plomados y un 2,8 % guantes plomados.
6	Velazquez-Kronen R. et al. (2019)	Uso de lentes plomados y distancia respecto al tubo	• Distancia reportada del T.R. con respecto al tubo de rayos X es menor a 3 pies (0,9m). Solo 167 (0,47 %) reportan usar lentes plomados.
7	Videira et al. (2025)	Uso de protector tiroideo	• El 25 % reporta usar el protector tiroideo.
8	Althawadi N. et al. (2024)	Uso de medios de protección radiológica y dosímetro individual	• El 100 % reporta usar “siempre” mandil plomado, el 95,6 % protector tiroideo y un 2,2 % usa lentes plomados. El 93,3 % “nunca” usa guantes plomados. Solo el 53,3 % reportó usar siempre el dosímetro.
9	O’Rourke et al. (2024)	Uso de medios de protección radiológica	• El 99 % usa mandiles plomados y el 92 % usa protector tiroideo. Solo un 10 % usa “siempre” los lentes plomados, mientras que el 98 % nunca usan guantes.
10	Quispe Palacios, A. (2025)	Uso de lentes plomados	• El 94 % del personal con opacidades en cristalino detectado realizaba un uso irregular o nulo de lentes plomados.

Tabla 4. *Factor organizacional asociado a la exposición ocupacional por radiación ionizante*

N°	Autor y Año	Factor organizacional reportado	Principales Hallazgos
1	Germonpré et al. (2016)	Cultura organizacional	• La falta de supervisión y feedback regular identificado como barrera para adoptar técnicas de baja dosis.
2	Andía-Correa (2017)	Vigilancia radiológica individual y carga laboral	• Carga de 21-30 pacientes por 6 horas (42,6 %). El 93,6 % cumple una jornada de 150 horas mensuales. • Respecto al monitoreo, advierte que control dosimétrico no es mensual, sino bimestral o trimestral.
3	Moore Q. (2020)	Carga laboral	• El 18,4 % de tecnólogos médicos labora turnos mayores o iguales a 12 horas.
4	Yashima et al. (2023)	Capacitación continua y vigilancia radiológica individual	• El 85,7 % de T.R. perciben una alta dificultad para comprender la física de las radiaciones, hallazgo que los autores relacionaron a una deficiencia en los programas de educación continua, pese a obligatoriedad de las instituciones en brindar capacitaciones periódicas sobre protección radiológica amparado en la Ley de Atención Médica de Japón.
5	Milder C. et al. (2024)	Vigilancia radiológica individual y carga laboral	• La dosis anual mediana disminuyó históricamente de los años 80 a la actualidad, situándose en 0,65 mSv. Las cohortes más jóvenes realizan una mayor frecuencia mediana de procedimientos por mes, es decir, mayor frecuencia de exposición.
6	Bernelli C. et al. (2024)	Capacitación continua y carga laboral	• Carga laboral alta, el 78,1 % trabaja en centros de alto volumen (más de 500 procedimientos/año). • El nivel de conocimiento legal sobre leyes de protección radiológica durante el embarazo de las TOE entre los T.M. y médicos, resultado un 93,5 % y un 48,3 %, respectivamente.
7	Ribeiro D. et al. (2025)	Capacitación continua y vigilancia radiológica individual	• Importancia de la capacitación continua para asegurar el cumplimiento de protocolos. Monitoreo dosimétrico recomendando el uso de dos dosímetros (uno bajo el mandil y otro al nivel del cuello) para una estimación precisa.

Tabla 5. *Factor técnico asociado a la exposición ocupacional por radiación ionizante*

N°	Autor y Año	Factor técnico reportado	Principales Hallazgos
1	Mohapatra et al. (2013)	Geometría del equipo	• Analizó 39 procedimientos de reparación endovascular aórtica fenestrada (FEVAR) donde participó un T.R. de EE. UU. Se reportó que las proyecciones laterales incrementaron 1,39 veces la tasa máxima de dosis respecto a las posteroanteriores (IC del 95 %: 1,05-1,84), con una diferencia estadísticamente significativa entre las vistas laterales derechas e izquierdas (2,09 vs. 0,77; $p < 0,001$).
2	Tu C. et al. (2020)	Optimización de la dosis	• Aplicación de frecuencias de 15 pulsos por segundo (FPS).
3	Sulieman A. et al. (2023)	Optimización de la dosis	• Aplicación de medidas de optimización de la dosis como colimación y filtración.
4	Tamam N. et al. (2023)	Geometría del equipo	• El estudio señala que la dosis recibida por el TOE es mayor cuando se utilizan sistemas con el tubo de rayos X sobre la mesa (over couch) en comparación con los sistemas donde el tubo se ubica bajo la mesa (under couch).
5	Uğrak U. et al. (2024)	Optimización de la dosis	• Evaluaron 2 804 procedimientos, realizados en un período de tres meses, en cuatro hospitales públicos de alta complejidad de Turquía con equipos de angiografía monoplanares y biplanares, donde se identificó un uso de colimación de un 2,6 % frente a un 60,6 % de uso de la magnificación digital (función de zoom).
6	Beckert A. et al. (2025)	Optimización de la dosis	• Analizaron 57 procedimientos de neurorradiología intervencionista, realizados durante un mes, donde participaron los T.M. de Alemania. Se reportó un FT mediano de 21 minutos (IQR 12-37) y se demostró que la implementación de protocolos de baja dosis en las tomas DSA logró reducir la radiación ambiental en un promedio del 23 %.

Tabla 6. *Consecuencias biológicas asociadas a la exposición ocupacional por radiación ionizante*

N°	Autor y Año	Consecuencia biológica reportada	Principales Hallazgos
1	Zett-Lobos C. et al. (2013)	Opacidad del cristalino	• Un T.M. participó en 1 057 procedimientos durante 9 meses en un hospital de Chile, con una dosis mensual media en el cristalino de 2,10 mSv en la zona frontal de los lentes plomados, 1,01 mSv en la zona posterior del lente plomado.
2	Orme et al. (2015)	Glioma	• Prevalencia de glioma del 2 % ($p = 0,98$), sugiriendo una baja detección clínica en muestras transversales.
3	Rajaraman et al. (2016)	Riesgo de stroke	• Aumento del 34 % en la incidencia del STROKE con un HR de 1,34 (95 % CI: 1,10–1,64), y el riesgo fue significativamente mayor en las T.M. mujeres (HR 1,55; 95 % CI: 1,23–1,96) que en varones (HR 1,10).
4	Kitahara et al. (2017)	Glioma	• La dosis cerebral acumulada media fue de 12 mGy. 193 muertes reportadas por neoplasias intracraneales malignas (gliomas). Los T.M. que participaron en procedimientos presentaron un RR de 1,7 (95 % CI: 1,1–2,3) de mortalidad.
5	Ko et al. (2017)	Opacidad del cristalino y glioma	• Prevalencia de opacidades en cristalino entre un 21 % y un 45 %. El RR de opacidad osciló entre 1,7 y 2,2. El 85 % de las neoplasias intracraneales (gliomas) ocurren en el hemisferio izquierdo.
6	Little et al. (2018)	Opacidad del cristalino	• Incidencia de catarata mostró un EHR de $0,69 \times 10^{-3}$ por mGy. El riesgo de cataratas fue significativo ($p = 0,030$) incluso en dosis acumuladas en el cristalino inferiores a 100 mGy, donde el EHR fue de $1,16 \times 10^{-3}$.
7	Lee et al. (2019)	Cáncer de tiroides	• 827 casos de cáncer de tiroides reportados, SIR alto: 1,72 en hombres (95 % CI: 1,53–1,91) y 1,18 en mujeres (95 % CI: 1,08–1,28).
8	Little et al. (2020)	Opacidad del cristalino	• El EAR de cataratas fue de 94 por 10 000 personas-año por Gy. El riesgo es significativamente superior en T.M. con diabetes ($p < 0,001$), con un EAR de 1725,0, frente a 110,2 en no diabéticos, con una radiosensibilidad 15 veces superior.
9	Lee et al. (2020)	Cáncer de tiroides y glioma	• En T.R. varones, con una dosis acumulada media de 16,0 mSv, se estimó un LAR de cáncer (total) de 121/100 000. El LAR para neoplasias intracraneales malignas (gliomas) fue de 1,0; y para tiroides, de 26,5.
10	Schueler B. et al. (2021)	Opacidad del cristalino	• EE. UU., el 15 % de los T.R. que participan en procedimientos intervencionistas exceden los 20 mSv/año en el cristalino.

ANEXOS

ANEXO 1. *Marco PCC: Población – Concepto – Contexto*

Marco PCC	
Población	Tecnólogos médicos en radiología y técnicos en radiología que participan en procedimientos de radiología intervencionista guiados por fluoroscopia.
Concepto	Factores asociados a la exposición ocupacional por radiación ionizante.
Contexto	Instituciones de salud que realicen procedimientos de radiología intervencionista guiados por fluoroscopia.

ANEXO 2. *Operacionalización de variables*

Dominio / Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo	Escala	Medición	Instrumento
DOMINIO: FACTOR CONDUCTUAL (V. INDEPENDIENTES)	Decisiones, hábitos y prácticas del operador del equipo de fluoroscopia							
Uso de medios de protección radiológica	Medios de protección radiológica individual, con espesor equivalente de plomo (Pb) de 0,35 a 0,5 milímetros (mm), utilizados por el TOE durante los procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Reporte de uso de los medios de protección radiológica individual durante los procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.		• Mandil plomado (Sí/No) • Protector tiroideo (Sí/No) • Lentes plomados (Sí/No) • Guantes plomados (Sí/No) • No reportado	Cualitativa dicotómico	Nominal	Frecuencia y Porcentaje (%)	Ficha de extracción
Uso del dosímetro individual	Uso del dosímetro individual por el TOE, como herramienta de medición de la dosis efectiva o dosis equivalente registrada en un período de tiempo.	Reporte del uso adecuado del dosímetro individual por el TOE durante los procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Uso de dosímetro individual	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia y Porcentaje (%)	Ficha de extracción
			Ubicación correcta del dosímetro individual	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia y Porcentaje (%)	Ficha de extracción
DOMINIO: FACTOR ORGANIZACIONAL (V. INDEPENDIENTES)	Políticas y estructura institucional.							
Vigilancia radiológica individual	Evaluación de la exposición recibida por el TOE durante las horas de trabajo, a través de la lectura del dosímetro individual.	Reporte de la frecuencia del informe de la lectura del dosímetro individual del TOE.	Frecuencia de lectura del dosímetro individual	• Mensual/ Bimensual • Trimestral • Semestral • No reportado	Cualitativa politómica	Ordinal	Distribución (%)	Ficha de extracción

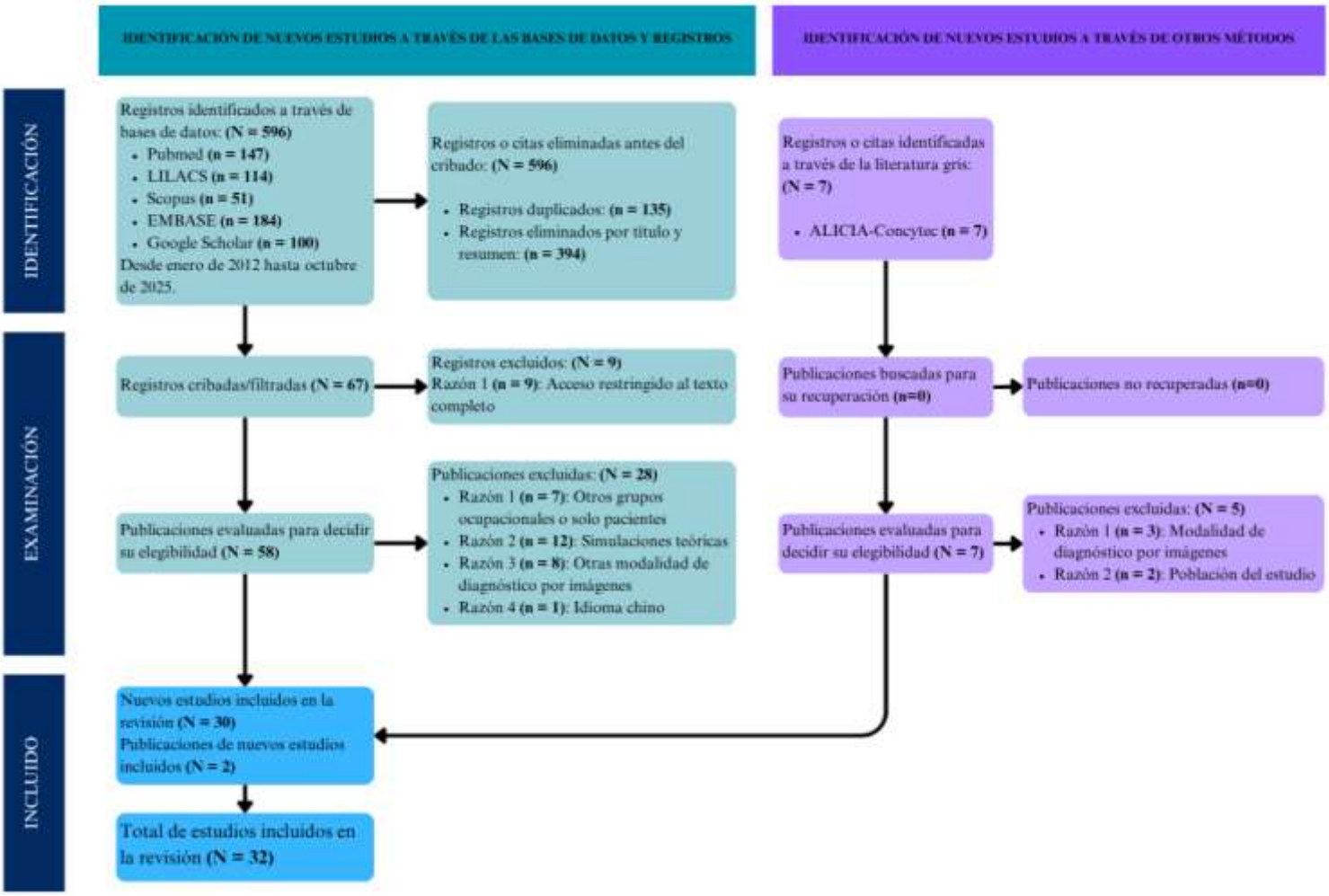
#Procedimientos/mes	Cantidad de procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia donde participa el TOE en un período mensual.	Reporte mensual del número de procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.		• #procedimientos reportados /mes • No reportado	Cuantitativa discreta	Razón	Media / mediana	Ficha de extracción
Capacitación continua	Capacitaciones continuas de actualización sobre normas y protocolos de protección radiológica, organizados por la institución, dirigido al TOE que participa en procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Registro de capacitaciones recibidas, en un período determinado, por el TOE.	Frecuencia de capacitaciones continuas	• Mensual • Semestral • Anual • No reportado	Cualitativa politómica	Ordinal	Distribución (%)	Ficha de extracción
DOMINIO: FACTOR TÉCNICO (V. INDEPENDIENTES)	Parámetros físicos inherentes al equipo de fluoroscopia.							
Kilovoltaje pico (kVp)	Potencial eléctrico aplicado al tubo de rayos x que determina la energía y capacidad de penetración del haz de radiación durante procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Valor de kVp utilizado durante el procedimiento.		• Valor registrado • No reportado	Cuantitativa continua	Razón	Media / mediana	Ficha de extracción
Kerma en aire acumulado (CAK)	Magnitud dosimétrica que representa la energía cinética transferida por radiación ionizante por unidad de masa de aire, acumulada durante un procedimiento intervencionista guiado por fluoroscopia en un punto de referencia, constituyendo un indicador técnico de la intensidad de exposición ocupacional generada por la radiación dispersa. Es expresado en unidades gray (Gy) o miligray (mGy).	Registro del CAK reportado por el equipo de fluoroscopia durante procedimientos intervencionistas.		• Gy o mGy • No reportado	Cuantitativa continua	Razón	Media / mediana	Ficha de extracción
Tiempo de exposición	Duración total de emisión de radiación durante los procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Tiempo total de fluoroscopia registrado en segundos o minutos.		• Tiempo en minutos/segundos • No reportado	Cuantitativa continua	Razón	Media / mediana	Ficha de extracción

Parámetros de reducción de dosis	Aplicación de parámetros técnicos para la reducción de dosis emitida durante la fluoroscopia, como minimizar el uso del modo cine y magnificaciones, así como usar adecuadamente la colimación en la región de interés del procedimiento.	Registro del uso de parámetros de reducción de dosis durante procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.		• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia (%)	Ficha de extracción
DOMINIO: CONSECUENCIAS BIOLÓGICAS (V. DEPENDIENTES)	Efectos determinísticos y estocásticos en el tecnólogo médico en radiología.							
Efectos biológicos determinísticos	Reacciones tisulares en el TOE caracterizados por una dosis umbral y un aumento en la gravedad de la reacción a medida que aumenta la dosis.	Reporte de reacciones tisulares en el TOE que participa de procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Eritema por radiación	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia (%)	Ficha de extracción
			Opacidad parcial o total del cristalino	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia (%)	Ficha de extracción
			Riesgo de enfermedad circulatoria (STROKE)	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia (%)	Ficha de extracción
Efectos biológicos estocásticos o probabilísticos	Cáncer desarrollado en el TOE debido a mutación de células somáticas o por enfermedad hereditaria producto de la mutación de las células reproductivas.	Reporte o estimaciones dosimétricos asociados a una exposición ocupacional por radiación ionizante en el TOE que participa en procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia.	Estimación de riesgo de cáncer	• OR • RR • HR • No reportado	Cuantitativa continua	Razón	Media / mediana	Ficha de extracción
			Neoplasias intracraneales malignas (gliomas)	• Sí/No • No reportado	Cualitativa dicotómica	Nominal	Frecuencia (%)	Ficha de extracción

ANEXO 3. *Estrategias de búsqueda*

Base de datos	Estrategia de búsqueda (query)	Número de artículos identificados
PubMed	((("occupational exposure"[MeSH Terms] OR ("occupational"[All Fields] AND "exposure"[All Fields]) OR "occupational exposure"[All Fields] OR ("radiation exposure"[MeSH Terms] OR ("radiation"[All Fields] AND "exposure"[All Fields]) OR "radiation exposure"[All Fields])) AND ("radiology"[MeSH Terms] OR "radiology"[All Fields] OR "radiography"[MeSH Terms] OR "radiography"[All Fields] OR "radiology s"[All Fields] OR (("radiological"[All Fields] OR "radiologically"[All Fields] OR "radiology"[MeSH Terms] OR "radiology"[All Fields] OR "radiologic"[All Fields]) AND ("technologist"[All Fields] OR "technologist s"[All Fields] OR "technologists"[All Fields])) OR ("radiograph"[All Fields] OR "radiographed"[All Fields] OR "radiographer"[All Fields] OR "radiographer s"[All Fields] OR "radiographers"[All Fields] OR "radiographic"[All Fields] OR "radiographical"[All Fields] OR "radiographically"[All Fields] OR "radiographics"[All Fields] OR "radiographing"[All Fields] OR "radiographs"[All Fields])) AND ("radiology, interventional"[MeSH Terms] OR ("radiology"[All Fields] AND "interventional"[All Fields]) OR "interventional radiology"[All Fields] OR ("interventional"[All Fields] AND "radiology"[All Fields])) AND ("ionising radiation"[All Fields] OR "radiation, ionizing"[MeSH Terms] OR ("radiation"[All Fields] AND "ionizing"[All Fields]) OR "ionizing radiation"[All Fields] OR ("ionizing"[All Fields] AND "radiation"[All Fields]))) AND ((ffrft[Filter]) AND (english[Filter] OR portuguese[Filter] OR spanish[Filter]) AND (2012:2025[pdat]))	147
LILACS	((occupational exposure) OR (radiation exposure)) AND ((radiology) OR (radiologic technologist)) AND (interventional radiology) AND (ionizing radiation)	114
Scopus (vía Science Direct)	((occupational exposure) OR (radiation exposure)) AND (radiologic technologist) AND (interventional radiology) AND (ionizing radiation) AND (cath lab)	51
Embase (vía Ovid)	((occupational exposure) OR (radiation exposure)) AND ((radiology) OR (radiologic technologist)) AND (interventional radiology) AND (ionizing radiation)	184
Google Scholar	("radiation exposure") + ("radiologic technologist") + ("interventional radiology")	100
ALICIA - CONCYTEC	(Intervencionismo) AND (Tecnología Médica)	7
Total de artículos identificados entre literatura académica y literatura gris		**603**

ANEXO 4. *Diagrama Prisma-ScR*



ANEXO 5. *Carta de aprobación del comité de ética (DUICT)*

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN

CAR-DUARI-O-656-25
Lima, 02 de Diciembre del 2025

Señor(a) investigador(es)
CHAMORRO ALZAMORA ADRIAN ALEJANDRO
SANCHEZ FLORES KARLA GERALDINE
Presente .-

Es grato dirigirme a usted para expresarle un cordial saludo y a la vez informarle que hemos recibido el proyecto de investigación titulado: **"FACTORES ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL POR RADIACIÓN IONIZANTE EN TECNÓLOGOS MÉDICOS EN RADIOLOGÍA EN PROCEDIMIENTOS DE RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA: UNA REVISIÓN DE ALCANCE" SIDISI 219847**, el cual ha sido revisado y registrado en la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia debido a que por sus características no requiere evaluación por el Comité Institucional de Ética en Investigación en Humanos ni por el Comité Institucional de Ética para Uso de Animales.

Este proyecto puede iniciar su ejecución. Los cambios o enmiendas al protocolo presentado solo deben ejecutarse luego de una nueva evaluación y autorización por esta dirección. Adicionalmente, agradecemos tenga a bien presentar el informe de cierre del proyecto al concluir la ejecución de este.

Atentamente,

UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA

DIR. UNIV. DE ASUNTOS REGULATORIOS EN INVESTIGACIÓN - DUARI - Universidad Peruana Cayetano Heredia DUARI

Dra. Cinthia Hurtado Esquén
Directora
Dirección Universitaria de Asuntos
Regulatorios de la Investigación

www.cayetano.edu.pe
vrinve@oficinas-upch.pe
510 0000 Anexo 201355
Apartado postal 4314
San Martín de Porres
Av. Honorio Delgado 430