



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE MEDICINA

**“EL ROL DEL TÉCNICO RADÍOLOGO EN EL USO DEL ARCO EN C EN
QUIRÓFANO”**

TESINA

Que para obtener el título de: PROFESIONAL ASOCIADO EN IMAGENOLOGÍA

Nombre del alumno que lo presenta:

VIANEY MORALES RODRÍGUEZ

Director:

TR: FABIOLA GUZMÁN RODRÍGUEZ

Codirector:

DRA: KARLA LUCIA HERRERA OLVERA

ID BUAP: 100287144

Revisor:

TR: JOANTHAN ISAIAS FLORES GUZMÁN

ID BUAP: 100538373

Heroica Puebla de Zaragoza, febrero, 2026.

ÍNDICE

1. Resumen	5
2. Introducción	6
3. Antecedentes.....	8
3.1 Antecedentes generales.....	8
3.2 Antecedentes específicos	10
4. Planteamiento del problema	14
5. Objetivos.....	16
5.1 Objetivo General.....	16
5.2 Objetivos Particulares.....	16
6. Material y métodos	17
6.1 Diseño del estudio	17
6.2 Ubicación espacio-temporal	17
6.3 Estrategia de trabajo	17
6.4 Muestreo	18
6.4.1 Definición de la unidad de población	18
6.4.2 Selección de la muestra	18
6.4.3 Criterios de selección de las unidades de muestreo	18
6.4.4 Diseño y tipo de muestreo	19
6.4.5 Tamaño de la muestra	19
6.5 Definición de las variables y escalas de medición	19
6.6 Método de recolección de datos	20
6.7 Técnicas y procedimientos.....	20

6.8 Análisis de datos.....	21
6.9 Diseño estadístico	21
6.9.1 Hipótesis estadística	22
6.9.2 Pruebas estadísticas	22
6.10 Bioética	22
7. Resultados.....	24
7.1 Funciones específicas del técnico radiólogo durante procedimientos quirúrgicos asistidos con el Arco en C	27
Introducción al rol del técnico radiólogo en quirófano	27
Clasificación de las funciones del técnico radiólogo.....	30
Funciones preoperatorias	30
Funciones intraoperatorias	31
Funciones postoperatorias	32
Diferenciación de funciones según el tipo de procedimiento quirúrgico	30
Procedimientos de cirugía general	30
7.2 Normativa y protocolos actuales sobre seguridad radiológica en quirófano relacionados con el uso del Arco en C.....	32
Importancia de la seguridad radiológica en procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C.....	32
Recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA).....	35
Aportes de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)	36
Principios fundamentales de la protección radiológica	36
Protocolos de seguridad radiológica en el quirófano	36
7.3 Impacto del técnico radiólogo en la calidad de imagen y tiempos operatorios	37
Conceptualización de la calidad de imagen en fluoroscopia intraoperatoria.....	38

Evidencia científica sobre el impacto del técnico radiólogo en la calidad de imagen	41
Relación entre el técnico radiólogo y los tiempos operatorios	41
Impacto indirecto en la seguridad del paciente y del personal.....	40
Comparación entre quirófanos con y sin personal radiológico especializado	40
Limitaciones de la evidencia y enfoque del estudio	43
Fortalecimiento de la formación académica inicial	43
Enfoque en protección radiológica ocupacional	43
Capacitación continua y actualización profesional	44
Certificación y acreditación profesional.....	44
Recomendaciones para el desempeño profesional en quirófano	44
Aplicación sistemática de protocolos de seguridad radiológica	45
Recomendaciones institucionales y organizacionales.....	45
Evaluación periódica del desempeño y control de calidad	45
7.5 Análisis de resultados.....	49
8. Discusión	51
9. Conclusiones	48
10. Bibliografía.....	53

1. Resumen

Introducción: El arco en C es fundamental en cirugías de alta precisión. Su uso óptimo depende críticamente del técnico radiólogo, cuyo rol en el quirófano, aunque importante, suele estar subutilizado y poco estandarizado, especialmente en contextos de recursos limitados. Esta revisión sistemática analiza la evidencia reciente sobre su importancia.

Objetivo: Analizar la importancia y el rol del técnico radiólogo en el uso del arco en C dentro del quirófano, evaluando su impacto en la calidad del procedimiento, la seguridad radiológica y la eficiencia operativa.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática cualitativa de literatura publicada entre 2020-2024 en bases de datos (SciELO, RedALyC, LILACS, Google Scholar). Tras aplicar criterios de inclusión/exclusión, se seleccionaron y analizaron temáticamente 20 artículos científicos.

Resultados: El análisis identificó un rol multidimensional del técnico radiólogo, con funciones en cuatro áreas: 1) Técnico-operativa (calibración y ajuste de parámetros), 2) Radioprotección (supervisión de EPP, optimización de dosis), 3) Soporte al equipo (asesoramiento anatómico) y 4) Gestión (registro de la dosis). Se observó una disminución relevante en la repetición de exposiciones radiológicas, estimada entre 25 y 30%. Los tiempos de fluoroscopia se redujeron en una cuarta parte respecto a los procedimientos en los que su participación no fue sistemática, y un ahorro promedio cercano a 1,200 dólares por intervención.

Conclusión: Los hallazgos permiten sostener que la participación del técnico radiólogo trasciende una función meramente operativa y se configura como un componente estratégico en la utilización segura y eficiente del arco en C dentro del entorno quirúrgico. Su presencia contribuye a mejorar la calidad del procedimiento y a reducir riesgos asociados a la exposición radiológica. En este sentido, no basta con su inclusión informal en el equipo; resulta necesario reconocer institucionalmente su competencia técnica y fortalecer su rol dentro de la dinámica interdisciplinaria.

Palabras clave: Técnico radiólogo, Arco en C, Quirófano, Radioprotección, Imagenología intraoperatoria, Seguridad del paciente, Revisión sistemática.

2. Introducción

En los últimos años, el entorno quirúrgico ha cambiado mucho debido a la incorporación de nuevas tecnologías de imagen que se utilizan durante las cirugías. Una de las más importantes es el arco en C, que se usa con frecuencia en especialidades como ortopedia, neurocirugía y cirugía vascular. Este equipo nos permite observar en tiempo real las estructuras del cuerpo mientras se realiza el procedimiento, lo que ayuda al cirujano a trabajar con mayor precisión. Gracias a esto, se han reducido complicaciones durante la operación, se optimiza el tiempo quirúrgico y, en general, se obtienen mejores resultados para los pacientes (1).

Sin embargo, contar con tecnología avanzada no garantiza por sí sola un uso adecuado o seguro. El buen aprovechamiento del arco en C depende en gran parte de la preparación, la experiencia y el cumplimiento de protocolos por parte del personal que lo maneja. En este punto, el técnico radiólogo tiene una función muy importante. Su trabajo no se limita únicamente a operar el equipo, sino que también es responsable de obtener imágenes claras y útiles, aplicar medidas de protección contra la radiación y coordinar su labor con el resto del equipo quirúrgico. Diversos estudios señalan que su participación activa es fundamental para proteger tanto al paciente como al personal de salud que está expuesto a radiación (2).

A pesar de lo anterior, en la práctica diaria todavía existe una diferencia entre lo que el técnico radiólogo puede aportar y el reconocimiento real que recibe dentro del quirófano, sobre todo en lugares donde hay limitaciones de recursos o problemas estructurales. En varios países de América Latina se observa que sus competencias no siempre son valoradas adecuadamente, que sus funciones no están bien definidas y que la formación específica para el trabajo en quirófano puede ser insuficiente. Esto puede dar lugar a prácticas menos eficientes, aumentar riesgos radiológicos que podrían evitarse y provocar un uso inadecuado de equipos que representan una inversión importante (5,6).

Además, hay pocos estudios en la región que analicen de forma detallada el impacto del técnico radiólogo dentro del entorno quirúrgico. La mayoría de las investigaciones se enfocan más en los aspectos tecnológicos o médicos del uso del arco en C, dejando en segundo plano el papel del profesional que hace posible su utilización segura en la práctica diaria (9).

Por esta razón, esta investigación se plantea con el propósito de generar información organizada y contextualizada que permita entender mejor la importancia del técnico radiólogo en el uso del arco en C en quirófano. A través de una revisión sistemática de literatura científica reciente, se busca analizar su influencia en la calidad y seguridad del procedimiento quirúrgico, identificar los beneficios concretos de su participación, reconocer las principales dificultades que enfrenta y proponer acciones que favorezcan su integración formal en los equipos de trabajo. Se espera que los resultados puedan servir como base para actualizar los protocolos, fortalecer planes de estudio y mejorar la gestión del personal de salud, contribuyendo así a elevar los estándares de seguridad y calidad en la práctica quirúrgica actual.

3. Antecedentes

3.1 Antecedentes generales

En las últimas décadas, el uso del Arco en C en las cirugías ha pasado de ser algo complementario a convertirse en una herramienta común en varias especialidades, sobre todo en ortopedia, neurocirugía y cirugía vascular. La posibilidad de obtener imágenes en tiempo real durante la operación ha cambiado la forma en que se realizan muchos procedimientos, ya que permite al cirujano orientarse mejor y trabajar con mayor precisión. Gracias a esto, se han reducido complicaciones, se han mejorado maniobras técnicas complejas y, en muchos casos, los resultados clínicos han sido más favorables (1).

Sin embargo, el buen manejo y funcionamiento del equipo no depende solo de la tecnología. También es fundamental la preparación del personal que lo opera. En este sentido, el técnico radiólogo cumple un papel importante dentro del quirófano. No se limita únicamente a manejar el aparato, sino que también se encarga de obtener imágenes claras y útiles, además de aplicar medidas de protección contra la radiación. Estudios recientes señalan que su participación constante ayuda a disminuir exposiciones innecesarias y a mantener condiciones de seguridad tanto para el paciente como para el equipo de salud (2).

Con el paso del tiempo, el Arco en C ha incorporado mejoras tecnológicas que exigen mayor preparación para su manejo. Organismos internacionales han señalado que la capacitación continua del personal no es opcional, sino necesaria, debido a la creciente complejidad de los procedimientos quirúrgicos actuales (3). A nivel mundial también se observa una tendencia a reconocer de manera más formal la participación del técnico radiólogo dentro del equipo quirúrgico, destacando su aporte en la reducción de los tiempos operatorios y en el fortalecimiento de la seguridad radiológica (4).

En América Latina, aunque el uso del Arco en C ha aumentado, todavía existen limitaciones relacionadas con la formación especializada y el reconocimiento profesional del técnico radiólogo. En hospitales públicos de México, por ejemplo, se ha señalado que la falta de capacitación específica para el trabajo en quirófano y la poca claridad en sus funciones pueden afectar la eficiencia en el uso del equipo (5). Esta situación es más evidente en instituciones con recursos limitados, donde la ausencia de protocolos bien definidos puede aumentar el riesgo de exposiciones radiológicas innecesarias (6).

Además, algunos autores destacan que el técnico radiólogo debería participar desde la etapa de planificación de la cirugía. Estudios recientes muestran que su intervención puede disminuir errores en el posicionamiento del Arco en C, lo que ayuda a reducir la dosis de radiación y mejora la precisión del procedimiento (7). Esto refuerza la idea de que su función no es solo de apoyo, sino que forma parte importante de la estrategia quirúrgica. Asimismo, su trabajo en conjunto con cirujanos y anestesiólogos facilita la toma de decisiones durante procedimientos complejos (8).

A pesar de estos avances, todavía existe una diferencia entre lo que se enseña en la formación académica y lo que realmente se necesita en el quirófano. Un análisis de programas de formación mostró que solo el 40% incluye contenidos específicos sobre el uso del Arco en C en cirugía, lo que evidencia una falta de actualización frente a las demandas actuales (9). Esta carencia puede influir en el desempeño del profesional dentro del entorno quirúrgico, según reportan algunas instituciones de salud (10).

La seguridad radiológica es otro aspecto clave en el que el técnico radiólogo tiene una participación central. Investigaciones recientes indican que su intervención contribuye a reducir la exposición acumulada a radiación en el equipo quirúrgico, en concordancia con estándares internacionales como los de la International Commission on Radiological Protection (ICRP) (11). Sin embargo, en varios hospitales de América Latina estos protocolos no siempre se aplican de manera uniforme. Esto demuestra la necesidad de fortalecer la capacitación continua y de establecer lineamientos más claros que orienten la práctica profesional dentro del quirófano (12).

En conclusión, el Arco en C se ha consolidado como una herramienta esencial en la cirugía actual. No obstante, su uso adecuado no depende únicamente de contar con el equipo, sino de disponer de personal capacitado para operarlo correctamente. La literatura coincide en que la participación del técnico radiólogo influye directamente en la calidad de las imágenes, en la reducción de riesgos por radiación y en la eficiencia del procedimiento quirúrgico. Aun así, persisten desafíos relacionados con la formación específica, la actualización profesional y la definición clara de funciones, especialmente en contextos donde los recursos son limitados.

3.2 Antecedentes específicos

En cuanto al papel del técnico radiólogo en el uso del Arco en C, la evidencia reciente muestra que su trabajo va mucho más allá de solo encender y mover el equipo. Su participación empieza incluso antes de la cirugía, especialmente al revisar y calibrar el aparato antes de cada procedimiento. López y colaboradores (2023) mencionan que este ajuste previo es clave para asegurar que las imágenes tengan la calidad necesaria para apoyar las decisiones médicas (13). Aunque pueda parecer una tarea rutinaria, una buena calibración evita repetir tomas y, por lo tanto, ayuda a reducir la cantidad de radiación que recibe el paciente y el equipo quirúrgico (14).

En cirugía ortopédica, su intervención es especialmente importante. La correcta alineación de fracturas y la revisión de implantes durante la operación dependen mucho de cómo se coloque el Arco en C. Un estudio realizado en Argentina en 2022 encontró que cuando el técnico radiólogo participa de forma activa, el tiempo de fluoroscopia puede disminuir cerca de un 25%, gracias a una mejor colocación del equipo y a la anticipación de las proyecciones necesarias (15). Además, su conocimiento de la anatomía radiológica permite elegir mejores ángulos de imagen, lo que facilita el trabajo del cirujano (16).

En neurocirugía, donde el margen de error es mínimo, su apoyo es todavía más relevante. Martínez y su equipo (2024) señalan que en procedimientos como la colocación de tornillos pediculares, el técnico radiólogo ayuda a identificar con mayor precisión estructuras óseas y vasculares mediante imágenes dinámicas (17). También

es quien ajusta los parámetros como el kilovoltaje (kVp) y la corriente del tubo (mA), buscando un equilibrio entre buena calidad de imagen y menor dosis de radiación (18).

En cuanto a la radioprotección, su función no se limita al manejo del equipo. También debe verificar el uso correcto de mandiles plomados, protectores tiroideos, lentes plomados y otros elementos de seguridad, además de orientar al equipo sobre la distancia y posición adecuadas durante la emisión de radiación (19). En hospitales de Brasil se ha observado que, cuando estas medidas son bien coordinadas por el técnico radiólogo, la exposición ocupacional puede disminuir hasta en un 40% (20).

A pesar de esto, existen limitaciones institucionales. En muchos hospitales públicos de la región, el técnico radiólogo no tiene autoridad para detener un procedimiento cuando detecta fallas técnicas o riesgos radiológicos (21). Esto contrasta con países como España, donde su participación está formalmente reconocida dentro de protocolos quirúrgicos nacionales (22).

La formación especializada sigue siendo un punto débil. Una revisión sistemática de 2024 identificó que solo el 30% de los técnicos radiólogos en América Latina recibe entrenamiento específico en el uso del Arco en C durante su formación académica (23). En muchos casos, el aprendizaje ocurre directamente en el trabajo. Esta situación es más complicada en zonas rurales, donde hay menos acceso a cursos de actualización (24). La falta de capacitación continua no solo limita el crecimiento profesional, sino que también puede afectar la calidad y seguridad de los procedimientos.

En relación con el trabajo en equipo dentro del quirófano, estudios cualitativos recientes indican que los cirujanos suelen valorar de manera positiva la participación del técnico radiólogo. Sin embargo, también se mencionan áreas de mejora en la comunicación y coordinación durante la cirugía (25). Por su parte, algunos técnicos refieren que sus conocimientos no siempre son aprovechados al máximo, lo que puede generar cierta desmotivación (26). Esto muestra la necesidad de fortalecer la integración dentro del equipo quirúrgico.

El Arco en C también ha cobrado mayor importancia con el crecimiento de la cirugía mínimamente invasiva. Un estudio publicado en 2023 en el Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences reportó que cerca del 78% de los procedimientos ortopédicos complejos en Estados Unidos y Europa utilizan este sistema como parte del estándar de atención, y que se observó una reducción aproximada del 15% en reintervenciones (27).

Desde el punto de vista de la seguridad del paciente, su participación también ha mostrado beneficios. Un estudio en Chile (2023) que analizó 500 casos encontró que la supervisión especializada en el uso del Arco en C se relacionó con una disminución del 32% en errores técnicos que podían derivar en complicaciones posteriores (28). Estos resultados coinciden con recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que enfatiza la importancia de contar con el personal capacitado en procedimientos con fluoroscopia (29).

Además, el técnico radiólogo contribuye en aspectos organizativos del quirófano. Su participación en la distribución del equipo y en la anticipación de necesidades técnicas puede reducir movimientos innecesarios y mejorar el flujo de trabajo (30). Esto ayuda a disminuir tiempos quirúrgicos y fatiga del equipo, sobre todo en cirugías largas.

En el ámbito económico, también se han identificado beneficios. Un estudio realizado en Argentina (2023) estimó que la reducción de tiempos quirúrgicos y de repeticiones de imágenes puede representar un ahorro promedio de 1,200 dólares por procedimiento en hospitales públicos (31).

No obstante, existen diferencias tecnológicas entre instituciones. Mientras algunos hospitales cuentan con equipos modernos y automatizados, otros aún utilizan sistemas antiguos que requieren mayor habilidad técnica (32). Esto obliga al técnico radiólogo a adaptarse a diferentes contextos.

Durante la pandemia por COVID-19 se reforzaron los protocolos de limpieza del Arco en C. Un estudio multicéntrico (2024) encontró que cuando los técnicos radiólogos estaban capacitados en estas medidas, las contaminaciones cruzadas en el equipo disminuyeron en un 90% (33).

En cirugía vascular periférica, su participación es clave durante angiografías intraoperatorias. Una investigación en Brasil (2023) mostró que su manejo adecuado del contraste y de los parámetros técnicos mejora la visualización de vasos muy pequeños, lo que facilita procedimientos más precisos (34).

En pacientes pediátricos, su papel es aún más delicado, ya que los niños son más sensibles a la radiación. Ajustar dosis específicas para esta población puede reducir la exposición hasta en un 60% comparado con protocolos estándar (35). Además, su apoyo en la inmovilización adecuada del paciente ayuda a evitar repeticiones de imágenes (36).

En situaciones de trauma, la rapidez es fundamental. Ruiz y colaboradores (2024) encontraron que los técnicos con entrenamiento en emergencias obtienen imágenes diagnósticas un 25% más rápido que quienes no cuentan con esa preparación (37).

La telemedicina también ha abierto nuevas posibilidades. En zonas rurales de México (2023), algunos técnicos capacitados en teleasistencia apoyan a cirujanos generales durante procedimientos urgentes, guiando el uso del Arco en C (38).

Más recientemente, los equipos han incorporado herramientas de inteligencia artificial que ajustan automáticamente parámetros de exposición y mejoran la calidad de imagen (39). Esto representa una oportunidad, pero también exige que el técnico radiólogo entienda cómo funcionan estos sistemas para supervisarlos correctamente. Un estudio en España (2024) señaló que alrededor del 68% de los técnicos no ha recibido formación específica en inteligencia artificial aplicada a imagenología (40).

En conjunto, la evidencia muestra que el técnico radiólogo tiene un papel estratégico en el manejo del Arco en C. Su trabajo impacta en la calidad de las imágenes, en la seguridad radiológica, en la eficiencia del procedimiento y en el uso adecuado de recursos. Sin embargo, todavía existen retos relacionados con la capacitación, el reconocimiento profesional y la integración formal dentro del equipo quirúrgico. Por ello, es necesario fortalecer su formación y definir con mayor claridad sus funciones dentro del entorno hospitalario actual.

4. Planteamiento del problema

En la práctica quirúrgica actual, el Arco en C se ha vuelto una herramienta fundamental en procedimientos que requieren mucha precisión, especialmente en cirugías ortopédicas, vasculares, traumatológicas y de columna. La posibilidad de obtener imágenes en tiempo real durante la operación ha cambiado la forma en que se toman decisiones, ya que permite confirmar alineaciones, posiciones y trayectorias con mayor exactitud. Sin embargo, que el equipo esté disponible en el quirófano no garantiza por sí mismo buenos resultados. Su uso seguro y efectivo depende en gran medida de la preparación de quien lo maneja y del cumplimiento adecuado de las normas de radioprotección.

A pesar de su importancia, en muchos hospitales de América Latina, sobre todo en el sector público, el papel del técnico radiólogo no siempre es aprovechado como debería. También es común que no exista capacitación específica para el manejo del Arco en C dentro del quirófano. Esto puede provocar imágenes de menor calidad, cirugías más largas, errores en el posicionamiento del equipo y exposiciones innecesarias a la radiación tanto para el paciente como para el personal de salud (1,2).

Diversos estudios han señalado que cuando el técnico radiólogo si cuenta con la formación adecuada, puede contribuir a que el procedimiento sea más ágil, a mejorar la calidad de las imágenes y a cumplir con las normas de protección radiológica (3). No obstante, todavía no existen protocolos claros y uniformes que definan su papel dentro del quirófano en todos los niveles del sistema de salud. Esta falta de regulación genera diferencias en la calidad del servicio y puede afectar la seguridad radiológica (4,5).

En este contexto, el técnico radiólogo ocupa un lugar estratégico que muchas veces no es completamente reconocido. Su trabajo es clave en la calibración del equipo, en el ajuste de los parámetros de exposición, en la obtención de imágenes útiles para el diagnóstico y en la supervisión de las medidas de protección. Sin embargo, en algunos hospitales su función se limita solo a operar el equipo, sin considerar todo el conocimiento técnico que puede aportar. Esto puede generar fallas técnicas, mayor exposición a radiación y un uso poco eficiente del Arco en C.

A esta situación se suma un vacío en el ámbito académico. Gran parte de la investigación en imagenología se ha enfocado en estudios realizados en servicios de radiología tradicionales, dejando en segundo plano el trabajo que se realiza dentro del quirófano. Por ello, existe poca evidencia organizada que analice específicamente el impacto del técnico radiólogo en el uso del Arco en C durante procedimientos quirúrgicos. Esta falta de información dificulta fortalecer su formación y establecer lineamientos claros basados en evidencia para su adecuada integración en el equipo quirúrgico.

Ante este panorama, resulta necesario analizar de manera más estructurada la importancia del técnico radiólogo en el manejo del Arco en C dentro del quirófano. Es importante evaluar su influencia en la calidad de la imagen, en la seguridad radiológica, en el trabajo en equipo y en la eficiencia del procedimiento. Esta investigación busca abordar el tema desde un enfoque académico y clínico, con el objetivo de generar información que contribuya a mejorar la práctica radiológica intraoperatoria y a fortalecer los estándares de calidad y seguridad en la cirugía actual.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Examinar de manera integral la relevancia del técnico radiólogo en el manejo del Arco en C dentro del entorno quirúrgico, con el propósito de determinar su influencia en la calidad del procedimiento, la seguridad radiológica y la optimización de los procesos operatorios.

5.2 Objetivos Particulares

- Describir y sistematizar las funciones técnicas, operativas y de radioprotección que desempeña el técnico radiólogo durante procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C.
- Analizar la normativa vigente y los protocolos institucionales relacionados con la seguridad radiológica en quirófano, identificando el nivel de integración formal del técnico radiólogo en dichos lineamientos.
- Examinar la evidencia científica disponible respecto al impacto de la participación del técnico radiólogo en la calidad de la imagen intraoperatoria, la reducción de dosis de radiación y la eficiencia en los tiempos quirúrgicos.
- Proponer recomendaciones para fortalecer la formación y desempeño del técnico radiólogo en entornos quirúrgicos.

6. Material y métodos

6.1 Diseño del estudio

Este trabajo corresponde a una revisión bibliográfica sistemática de tipo cualitativo y descriptivo, orientada a recopilar, analizar y sintetizar la evidencia científica disponible entre los años 2020 y 2024 sobre el papel del técnico radiólogo en quirófano durante el uso del Arco en C. La finalidad es comprender su impacto en la calidad de imagen, la seguridad radiológica y el apoyo al equipo quirúrgico, con base en fuentes académicas indexadas.

6.2 Ubicación espacio-temporal

La investigación se desarrolló en modalidad virtual y bibliográfica, sin intervención directa en campo, y se llevó a cabo entre los meses de junio y agosto de 2025. La búsqueda de información se realizó en bases de datos electrónicas científicas de acceso abierto como SciELO, RedALyC, LILACS y Google Scholar, priorizando publicaciones en el idioma español y artículos latinoamericanos para contextualizar la problemática regional.

6.3 Estrategia de trabajo

Se utilizó una estrategia de revisión sistemática no experimental, basada en los siguientes pasos:

- Identificación del problema y definición de objetivos.
- Establecimiento de criterios de inclusión y exclusión.
- Búsqueda sistemática en bases de datos científicas (SciELO, RedALyC).

- Revisión, lectura crítica y selección de artículos.
- Extracción de información relevante (autor, año, objetivo, metodología, resultados y conclusiones).
- Análisis temático y síntesis de los hallazgos.

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: Técnico radiólogo, Arco en C, quirófano, radioprotección, imagenología intraoperatoria, rol profesional en cirugía.

6.4 Muestreo

6.4.1 Definición de la unidad de población

La población estuvo conformada por artículos científicos, tesis y revisiones académicas que abordaran el rol del técnico radiólogo en ambientes quirúrgicos, específicamente en el uso del Arco en C, publicados entre 2020 y 2024 en el idioma español o inglés.

6.4.2 Selección de la muestra

Se seleccionaron los artículos que cumplieran con los criterios definidos y que estuvieran disponibles en texto completo. Los artículos fueron revisados manualmente para garantizar su pertinencia temática, rigor científico y actualidad.

6.4.3 Criterios de selección de las unidades de muestreo

6.4.3.1 Criterios de inclusión

- Publicaciones entre los años 2020 y 2024.
- Artículos científicos, tesis, revisiones sistemáticas o integrativas.
- Estudios disponibles en texto completo.
- Publicaciones relacionadas con imagenología en quirófano, uso del Arco en C o participación del técnico radiólogo en procedimientos quirúrgicos.

6.4.3.2 Criterios de exclusión

- Artículos publicados antes del año 2020.
- Publicaciones no académicas, sin revisión por pares.
- Documentos incompletos, duplicados o no accesibles en su totalidad.
- Estudios que no incluyeran relación directa con el técnico radiólogo o el Arco en C.

6.4.3.3 Criterios de eliminación

- Artículos que, tras una revisión detallada, no cumplieran con el enfoque temático o metodológico requerido.
- Publicaciones con sesgo evidente o carencia de sustento empírico.
- Estudios redundantes o con datos desactualizados.

6.4.4 Diseño y tipo de muestreo

Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando únicamente aquellos estudios que cumplieran con los criterios preestablecidos y que estuvieran disponibles en las bases de datos seleccionadas.

6.4.5 Tamaño de la muestra

Después de aplicar los criterios mencionados, se conformó una muestra final de 20 artículos científicos que cumplieron con los requisitos de inclusión, los cuales fueron analizados cualitativamente para extraer la información relevante sobre el rol del técnico radiólogo en quirófano con uso del Arco en C.

6.5 Definición de las variables y escalas de medición

Dado que esta investigación es de tipo documental y cualitativo, las variables se definen de forma conceptual y no se utilizan escalas de medición numéricas o cuantitativas. No obstante, se identifican las siguientes ****variables clave****:

Variable principal: Rol del técnico radiólogo en el uso del Arco en C en quirófano.

Variables secundarias:

- Calidad de la imagen intraoperatoria.
- Aplicación de protocolos de radioprotección.
- Interacción del técnico radiólogo con el equipo quirúrgico.
- Grado de formación técnica específica.
- Seguridad del paciente durante el procedimiento.

Estas variables fueron analizadas mediante una revisión teórica y comparativa, y la medición se estableció a través de la frecuencia con que se presentan en la literatura y la profundidad del abordaje.

6.6 Método de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante una búsqueda sistemática de artículos científicos en bases de datos académicas (SciELO, RedALyC, LILACS y Google Scholar), utilizando descriptores controlados (DeCS y MeSH) en español e inglés, como: “técnico radiólogo”, “Arco en C”, “quirófano”, “radioprotección”, “imagenología quirúrgica”, “fluoroscopia intraoperatoria”.

Se aplicó un protocolo de registro y análisis de los artículos seleccionados, utilizando una ficha de lectura por cada texto, que incluyó: autor, año, país, objetivo, diseño metodológico, hallazgos relevantes y conclusiones.

6.7 Técnicas y procedimientos

Las técnicas aplicadas fueron de tipo documental, entre ellas:

- Revisión de literatura académica actualizada.
- Clasificación temática de los hallazgos.
- Análisis comparativo de estudios.
- Interpretación cualitativa del rol y funciones del técnico radiólogo en quirófano.

Los procedimientos incluyeron la aplicación de criterios de selección (inclusión, exclusión y eliminación), la codificación de contenidos, y la sistematización de datos para su posterior análisis.

6.8 Análisis de datos

El procesamiento de la información se llevó a cabo mediante un enfoque de análisis temático de carácter cualitativo, orientado a examinar de manera sistemática los hallazgos reportados en los estudios incluidos. Este procedimiento permitió identificar recurrencias, convergencias conceptuales y posibles discrepancias en relación con el rol del técnico radiólogo en el entorno quirúrgico.

La codificación inicial se realizó a partir de la lectura exhaustiva de los artículos seleccionados, lo que facilitó la construcción de categorías analíticas emergentes. Entre las principales dimensiones identificadas se encuentran: a) funciones técnicas desempeñadas en el manejo del Arco en C; b) repercusión en la calidad de la imagen intraoperatoria; c) estrategias y prácticas vinculadas con la seguridad radiológica; y d) requerimientos formativos y necesidades de actualización profesional.

Posteriormente, los hallazgos fueron organizados en matrices y cuadros de síntesis comparativa, acompañados de un análisis narrativo que permitió integrar los resultados en una interpretación global. Este proceso favoreció la construcción de una perspectiva comprensiva sobre la contribución del técnico radiólogo en quirófano, considerando tanto los aspectos técnicos como los organizacionales y formativos.

6.9 Diseño estadístico

Dado que esta es una investigación de revisión bibliográfica de tipo cualitativo, no se aplicaron métodos estadísticos cuantitativos, sin embargo, se puede establecer una hipótesis estadística conceptual con fines referenciales.

6.9.1 Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H_0): El rol del técnico radiólogo en el uso del Arco en C en quirófano no influye significativamente en la calidad del procedimiento quirúrgico ni en la seguridad radiológica.

Hipótesis alternativa (H_1): El adecuado desempeño del técnico radiólogo al utilizar el Arco en C mejora significativamente la calidad de imagen intraoperatoria y garantiza mayor seguridad radiológica durante la cirugía.

6.9.2 Pruebas estadísticas

No se emplearon pruebas estadísticas debido a la naturaleza cualitativa de la revisión. El análisis se centró en la interpretación narrativa y crítica de la evidencia documental recopilada.

6.10 Bioética

Dado que esta investigación no implica intervención en sujetos humanos ni manipulación de datos sensibles, no representa riesgo ético. Sin embargo, se respetaron los principios fundamentales de la investigación bioética: confidencialidad, integridad, veracidad, respeto a las fuentes, y uso legítimo del conocimiento científico.

En caso de que se retomaran estudios que incluyan participación de personas, se verificó que todos los artículos utilizados hayan pasado por un comité de ética en sus respectivos países o instituciones.

Procedimientos en caso de efectos adversos:

En caso de futuras investigaciones experimentales que involucren el uso del Arco en C en quirófano con sujetos humanos, se deberán aplicar protocolos estrictos de seguridad radiológica y ética médica, asegurando:

- Evaluación previa del comité de ética institucional.

- Obtención del consentimiento informado por parte del paciente, garantizando que haya recibido información clara, suficiente y comprensible respecto al procedimiento y a los posibles riesgos asociados.
- Implementación y supervisión de protocolos vigentes de protección radiológica, asegurando el uso adecuado de barreras físicas, dispositivos de protección personal y control de dosis durante la exposición.
- Disponibilidad de un plan de contingencia médica para la atención inmediata de cualquier evento adverso o complicación que pudiera presentarse durante el procedimiento, con personal capacitado y recursos clínicos oportunamente accesibles.

7. Resultados

El análisis de los 20 artículos seleccionados, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente, permitió identificar hallazgos importantes relacionados con la radiología intraoperatoria. Siguiendo el diseño metodológico planteado —una revisión bibliográfica sistemática con un enfoque cualitativo y descriptivo— los resultados se organizaron según los objetivos específicos del estudio, lo que ayudó a presentar la información de manera clara y ordenada.

La revisión de la literatura indica que la participación de un técnico radiólogo con formación específica tiene un impacto importante en la calidad de las imágenes obtenidas durante la cirugía. Varios estudios mencionan que la calibración del equipo antes de iniciar el procedimiento es un paso fundamental, ya que permite ajustar correctamente parámetros como la escala de grises, el contraste la resolución de la imagen (13).

Cuando esta revisión previa se realiza de manera constante, disminuye la necesidad de repetir exposiciones. Algunos estudios reportan reducciones entre el 25% y el 30%, lo que no solo reduce la dosis de radiación que recibe el paciente, y al equipo quirúrgico sino que también puede acortar el tiempo total de la cirugía (14, 28, 37). Este aspecto es especialmente relevante en casos de trauma ortopédico, donde la rapidez y la precisión en la toma de decisiones pueden influir directamente en la evolución del paciente.

Asimismo, la experiencia del técnico radiólogo en el posicionamiento y manejo del Arco en C, así como su conocimiento de la anatomía, facilita el trabajo del cirujano. En cirugía de columna, por ejemplo, lograr una alineación adecuada para visualizar correctamente los pedículos vertebrales durante la colocación de tornillos ayuda a evitar errores milimétricos que podrían ocasionar complicaciones neurológicas graves (16, 17). Los datos cuantitativos de un estudio multicéntrico indican que esta colaboración puede reducir el tiempo total de fluoroscopia en un 25%, optimizando así

el flujo de trabajo en el quirófano y disminuyendo el riesgo de contaminación y fatiga del equipo (15, 30).

Contribución a la seguridad radiológica y la protección del paciente

Este constituye uno de los hallazgos más robustos de la revisión. El técnico radiólogo emerge como el garante principal del cumplimiento de los principios de radioprotección (tiempo, distancia y blindaje) dentro del quirófano. La literatura confirma que en instituciones donde este profesional supervisa con anticipación el uso de equipos de protección personal (delantales plomados, collarines tiroideos, gafas) y vela por que el personal mantenga una distancia segura durante la exposición, las dosis de radiación dispersa recibidas por el equipo quirúrgico llegan a reducirse hasta en un 40% (19, 20).

Su rol es particularmente vital en subpoblaciones de alto riesgo. En procedimientos pediátricos, los técnicos radiólogos con capacitación entrenamiento específico son capaces de ajustar los parámetros técnicos (kVp, mA) y hacer uso de los colimadores para adaptar la dosis al tamaño del paciente, logrando reducciones de hasta un 60% en comparación con los protocolos estandarizados para adultos, sin afectar la calidad diagnóstica de la imagen (35). Asimismo, su intervención en la inmovilización segura y adecuada del paciente pediátrico previene movimientos accidentales que obligarían a repetir la exposición (36). La revisión también destaca su papel en poner en función de los nuevos protocolos de limpieza y desinfección del equipo post-COVID-19, donde llevando a cabo dicho procedimiento redujo las tasas de contaminación cruzada en superficies en un 90% (33).

Brechas y desafíos en la formación académica y continua

El análisis identifica una desconexión crítica entre las demandas del entorno quirúrgico moderno y la formación que reciben los técnicos radiólogos en gran parte de América Latina. Los estudios revisados informan de forma alarmante que solo entre el 30% y el 40% de los programas académicos de técnicos radiólogos en la región incluyen módulos específicos, prácticos y teóricos, sobre el manejo del Arco en C en quirófano, radioprotección avanzada en este contexto y comunicación interdisciplinaria (9, 23).

Esta carencia en la formación inicial crea una dependencia casi total de la capacitación informal "en el trabajo", la cual es irregular, no estandarizada y suele depender de la buena voluntad del personal más experimentado (10, 24).

Esta brecha de conocimiento se amplía con la rápida evolución tecnológica. La incipiente integración de algoritmos de Inteligencia Artificial (IA) en los Arcos en C de última generación para la optimización automática de parámetros y la reconstrucción de imágenes representa un nuevo desafío. Un estudio español citado revela que el 68% de los técnicos en activo no ha recibido ningún tipo de formación en el manejo de estas nuevas herramientas, lo que genera una nueva brecha de habilidades que puede agravar las disparidades tecnológicas entre centros de excelencia y hospitales comunitarios (32, 39, 40).

Dinámica interdisciplinaria y reconocimiento institucional

Los resultados muestran una situación un poco contradictoria en cuanto a la integración del técnico radiólogo dentro del equipo quirúrgico. Por un lado, los estudios cualitativos indican que muchos cirujanos reconocen su apoyo para hacer más ágil el procedimiento y mejorar la calidad de las imágenes durante la cirugía, especialmente en intervenciones complejas (25).

Sin embargo, a pesar de este reconocimiento, todavía existen limitaciones relacionadas con la comunicación y con el lugar que ocupa dentro del equipo. Algunos estudios señalan que, en la práctica diaria, su conocimiento especializado no siempre se aprovecha al máximo y que sus recomendaciones sobre seguridad radiológica pueden dejarse en segundo plano o no atenderse de inmediato (21, 26). Esto puede generar cierta tensión en el trabajo conjunto y afectar la motivación del profesional, así como su percepción de reconocimiento dentro del quirófano.

Otro punto importante que se identificó en la revisión es que, en varios hospitales de la región, no existe una normativa clara que respalde formalmente al técnico radiólogo para detener o posponer un procedimiento cuando detecta fallas técnicas o riesgos radiológicos importantes. Esta falta de respaldo limita su capacidad de actuar de manera preventiva y puede dificultar el cumplimiento adecuado de los estándares de

seguridad ya establecidos. Esta falta de "autoridad de parada" contrasta marcadamente con los protocolos estandarizados en países como España, donde su rol está claramente definido y respaldado institucionalmente, y constituye un factor de riesgo crítico para la seguridad del paciente (21, 22).

Implicaciones económicas y de gestión sanitaria

Más allá de los beneficios clínicos y de seguridad, la intervención del técnico radiólogo demostró tener un impacto económico positivo concreto. Un estudio de costos realizado en Argentina calculó que la reducción en el tiempo quirúrgico, la disminución en la repetición de exposiciones (y por ende, del desgaste del tubo de rayos X) y la optimización en el uso de recursos del quirófano representan un ahorro promedio de \$1,200 USD por procedimiento ortopédico complejo en el sistema público (31). Este ahorro, ya multiplicado por el volumen de procedimientos, justifica ampliamente la inversión en puestos de trabajo especializados y en programas de capacitación continua.

7.1 Funciones específicas del técnico radiólogo durante procedimientos quirúrgicos asistidos con el Arco en C

Introducción al rol del técnico radiólogo en quirófano

El uso del Arco en C en procedimientos quirúrgicos se ha incrementado de manera significativa en las últimas décadas, especialmente en áreas como ortopedia, traumatología y cirugía general, debido a la necesidad de obtener imágenes en tiempo real que faciliten la toma de decisiones intraoperatorias. En este contexto, el técnico radiólogo adquiere un papel fundamental, ya que es el profesional responsable de operar el equipo de fluoroscopia, priorizar la calidad de imagen y garantizar la seguridad radiológica del paciente y del equipo quirúrgico.

La evidencia revisada muestra que la participación del técnico radiólogo influye directamente en varios aspectos del procedimiento quirúrgico. Su intervención se relaciona con la optimización de los tiempos, la reducción de la dosis de radiación administrada y la prevención de incidentes tanto para el paciente como para el

personal expuesto (41–42). Por ello, definir con claridad cuáles son sus responsabilidades no solo permite valorar mejor su aporte dentro del equipo quirúrgico, sino que también ayuda a fortalecer su formación académica y su reconocimiento institucional.

Clasificación de las funciones del técnico radiólogo

Para entender mejor su trabajo, las funciones del técnico radiólogo en procedimientos con Arco en C pueden organizarse en tres momentos: fase preoperatoria, fase intraoperatoria y fase postoperatoria. Aunque en la práctica estas actividades se desarrollan de manera continua y relacionada entre sí, esta división permite explicar con mayor claridad su intervención en la calidad de la imagen, la seguridad radiológica y la eficiencia del procedimiento.

Funciones preoperatorias

En la fase preoperatoria, el técnico radiólogo realiza actividades clave para asegurar que el procedimiento se desarrolle en condiciones adecuadas. Entre sus responsabilidades está revisar el estado del Arco en C, verificando el funcionamiento del tubo de rayos X, el sistema de imagen (intensificador o detector plano), los controles de dosimetría y los mecanismos de movilidad del equipo (43). Esta revisión permite detectar posibles fallas antes de iniciar la cirugía y evitar interrupciones.

También corresponde a esta etapa la calibración inicial del equipo y la comprobación de modalidades como la fluoroscopia pulsada. Asimismo, el técnico selecciona de manera preliminar los parámetros técnicos según el tipo de cirugía y la zona anatómica que se va a intervenir. La literatura en física médica señala que una preparación adecuada reduce la probabilidad de repetir exposiciones durante la cirugía, lo que contribuye a disminuir la dosis de radiación (41).

Otro aspecto importante es la planificación del posicionamiento del Arco en C dentro del quirófano. Tener en cuenta el tipo de abordaje quirúrgico, el espacio disponible y la dinámica del equipo facilita el trabajo durante la intervención y evita movimientos innecesarios. La Agencia Internacional de Energía Atómica ha señalado que la planificación previa es fundamental para optimizar la protección radiológica en procedimientos guiados por fluoroscopia (44).

Además, en esta fase el técnico radiólogo verifica que el personal cuente con el equipo de protección adecuado, como mandiles plomados, protectores tiroideos, gafas con blindaje y biombos móviles. Esta revisión ayuda a que el procedimiento inicie bajo condiciones seguras desde el punto de vista radiológico y la importancia de la seguridad radiológica. (45).

Funciones intraoperatorias

Durante la cirugía, la participación del técnico radiólogo es constante y activa. Su principal función es obtener imágenes con la calidad suficiente para apoyar las decisiones del cirujano en tiempo real. Para ello, ajusta parámetros como el kilovoltaje (kVp), el miliamperaje (mA), la colimación y el tiempo de fluoroscopia, de acuerdo con las características del paciente y las necesidades del procedimiento (46).

El posicionamiento correcto del Arco en C también es fundamental. Pequeñas desalineaciones pueden afectar la calidad de la imagen y obligar a repetir exposiciones, aumentando la dosis acumulada. Diversos estudios muestran que la experiencia del técnico se asocia con menos repeticiones y menor tiempo total de fluoroscopia (47).

De forma paralela, supervisa el cumplimiento de las medidas de protección radiológica durante toda la intervención. Esto incluye vigilar el tiempo de exposición, promover una distancia adecuada respecto al haz de radiación y orientar al equipo para reducir la radiación dispersa. Estas acciones se basan en el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), que establece que la exposición debe mantenerse tan baja como sea razonablemente posible (48).

La correcta comunicación con el equipo quirúrgico o cirujano, también es esencial en esta fase, ya que una coordinación adecuada entre cirujano y técnico permite obtener las imágenes necesarias sin generar retrasos o exposiciones innecesarias.

Funciones postoperatorias

Después de finalizar la cirugía, la labor del técnico radiólogo continúa. En esta etapa realiza actividades de control y aseguramiento de calidad. Entre ellas se encuentra verificar el apagado correcto del equipo, revisar su funcionamiento después del uso y

detectar posibles fallas que puedan afectar procedimientos posteriores (43). En caso de identificar alguna anomalía, debe reportarla para que se realicen acciones de mantenimiento preventivo o correctivo.

Asimismo, el Personal ocupacionalmente expuesto o técnico radiólogo puede participar en el registro de los tiempos de fluoroscopia y de las dosis empleadas durante el procedimiento. Esta información es útil para auditorías internas, programas de protección radiológica y actividades de capacitación. La evidencia señala que el análisis sistemático de estos datos contribuye a reducir progresivamente la exposición radiológica en el entorno quirúrgico (44,50).

Diferenciación de funciones según el tipo de procedimiento quirúrgico

Procedimientos ortopédicos y traumatológicos

En cirugía ortopédica y traumatológica, el Arco en C se utiliza de manera intensiva para la reducción de fracturas, colocación de implantes y verificación de alineaciones anatómicas. En este contexto, el técnico radiólogo debe realizar ajustes rápidos y frecuentes de proyecciones, lo que requiere experiencia técnica y alta coordinación con el cirujano (51).

La literatura nos demuestra que en estos procedimientos la correcta participación del técnico radiólogo se asocia con una disminución del tiempo de fluoroscopia y una reducción de la dosis ocupacional del personal quirúrgico (52).

Procedimientos de cirugía general

En cirugía general, el uso del Arco en C suele ser más puntual, enfocado en la visualización de estructuras específicas o dispositivos médicos. Aquí, el técnico radiólogo da prioridad a la optimización de la calidad de imagen con el menor número de exposiciones posibles, ajustando cuidadosamente los parámetros técnicos para evitar repeticiones innecesarias (46).

La evidencia analizada permite identificar que las funciones del técnico radiólogo durante procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C son complejas, especializadas y determinantes para la seguridad radiológica, la calidad de imagen y la eficiencia del acto quirúrgico. Estas funciones, organizadas en fases preoperatorias,

intraoperatorias y postoperatorias, van a variar según el tipo de procedimiento, pero mantienen como eje común la optimización del uso de la radiación ionizante y la protección del paciente y del equipo quirúrgico.

Tabla 1 Funciones identificadas del técnico radiólogo en quirófano con Arco en C.

Dimensión de la Función	Acciones Específicas Identificadas	Impacto Reportado	Fuentes Citadas
Técnico-Operativa	Calibración pre-procedimiento. Selección de protocolos (kVp, mA). Posicionamiento correcto del arco.	Se reducen las repeticiones en 25-30%. Es calar la mejora la calidad diagnóstica de la imagen.	13, 16, 18
Radioprotección	Supervisión de EPP (delantales, protectores tiroideos). Control de distancia del personal. Aplicación de colimadores y minimización de tiempo. Ajuste en las dosis pediátricas.	Reduce la dosis al personal en ~40%. Reduce las dosis pediátricas en ~60%. Cumplimiento principio ALARA.	7, 19, 20, 35
Soporte al Equipo	Asesoramiento sobre ángulos de proyección. Ayuda en la inmovilización segura del paciente. Optimización del flujo de trabajo y ergonomía.	Reduce el tiempo de fluoroscopia en 25%. Mejora la precisión quirúrgica. Reduce la fatiga del equipo.	15, 17, 30, 36
Gestión y Control	Registro de dosis. Aplicación de protocolos de limpieza/desinfección.	Trazabilidad de dosis paciente. Reduce contaminación	31, 33

	Reporte de fallas técnicas e incidencias.	cruzada >90%. Mantenimiento preventivo del equipo.	
--	---	---	--

Fuente: Autoría propia (2025).

7.2 Normativa y protocolos actuales sobre seguridad radiológica en quirófano relacionados con el uso del Arco en C

Importancia de la seguridad radiológica en procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C

El uso del Arco en C en el entorno quirúrgico ha transformado la práctica clínica al permitir la obtención de imágenes dinámicas en tiempo real; sin embargo, su uso implica la exposición a radiación ionizante tanto para el paciente como para el equipo quirúrgico. Esta situación ha motivado el desarrollo de un amplio marco normativo internacional y nacional orientado a regular, controlar y optimizar el uso de la radiación en procedimientos médicos, con especial énfasis en la fluoroscopia intraoperatoria (41-42).

La seguridad radiológica en el quirófano se basa en buscar el mayor beneficio posible para el paciente, tanto en el diagnóstico como en el tratamiento, pero reduciendo al mínimo los riesgos por la exposición a la radiación. Por eso, es importante revisar el marco normativo que regula estas prácticas, ya que permite definir con claridad las responsabilidades de cada profesional que participa en el procedimiento. En este contexto, el técnico radiólogo cumple un papel clave, ya que en la práctica diaria es quien aplica directamente los principios de protección radiológica y ayuda a que se cumplan dentro del entorno quirúrgico (46).

Recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica

La Agencia Internacional de Energía Atómica es uno de los principales organismos internacionales en materia de seguridad y protección radiológica. A través de normas, documentos técnicos y guías, establece orientaciones para garantizar el uso seguro

de las radiaciones ionizantes en medicina, incluyendo los procedimientos realizados con fluoroscopia y Arco en C dentro del quirófano (44).

Entre sus principales recomendaciones se encuentra la implementación de protocolos de trabajo estandarizados, programas de control y garantía de calidad del equipamiento, y la capacitación continua del personal que participa en estos procedimientos. La IAEA advierte que cuando no existen protocolos claros o no se cumplen adecuadamente, aumenta el riesgo de exposiciones innecesarias, lo que puede generar efectos biológicos tanto deterministas (relacionados con ciertos niveles de dosis) como estocásticos (relacionados con la probabilidad acumulativa de daño) (53).

Además, el organismo resalta la importancia de contar con sistemas de monitoreo y registro de la dosis de radiación, tanto en pacientes como en trabajadores expuestos. Para ello, recomienda el uso de dosímetros personales, la revisión periódica de los niveles de exposición y el registro de los tiempos de fluoroscopia. Estas medidas permiten optimizar la dosis y cumplir con el principio ALARA, que establece que la exposición debe mantenerse tan baja como sea razonablemente posible (44).

Aportes de la Comisión Internacional de Protección Radiológica

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ha desarrollado las bases conceptuales que sustentan la mayoría de las normativas actuales sobre protección radiológica. Sus recomendaciones sirven como referencia científica para establecer reglas relacionadas con la justificación de los procedimientos, la optimización de la dosis y los límites de exposición.

En su Publicación 117, la ICRP aborda específicamente la protección radiológica en procedimientos guiados por fluoroscopia, incluyendo el uso del Arco en C en el quirófano (48). En este documento se destaca la importancia de ajustar correctamente los parámetros técnicos, controlar el tiempo de fluoroscopia y ubicar adecuadamente el equipo para disminuir la radiación dispersa.

La ICRP también señala que la protección radiológica no es responsabilidad exclusiva del médico, sino de todo el equipo de salud que participa en el procedimiento, incluido el técnico radiólogo. Este enfoque resalta la importancia del trabajo en equipo, la capacitación constante y la existencia de protocolos claros que definan funciones y responsabilidades dentro del quirófano (48).

Desde esta mirada, el técnico radiólogo no solo opera el equipo, sino que cumple un papel activo en la aplicación práctica de las medidas de protección radiológica, contribuyendo directamente a la seguridad del paciente y del personal que trabaja en el área quirúrgica.

Principios fundamentales de la protección radiológica

Principio de justificación

El principio de justificación señala que toda exposición a radiación ionizante debe aportar un beneficio clínico mayor que el riesgo que implica. Es decir, ningún procedimiento debe realizarse si no está realmente indicado desde el punto de vista diagnóstico o terapéutico.

En el quirófano, esto significa que el uso del Arco en C debe evaluarse previamente, evitando exposiciones innecesarias o repetidas que no aporten información útil. La decisión de utilizarlo debe basarse en criterios médicos claros y en los protocolos establecidos por la institución (42, 45).

El técnico radiólogo participa activamente en la aplicación de este principio. Lo hace al ejecutar correctamente las proyecciones solicitadas, comprobar que la primera imagen tenga calidad diagnóstica y evitar repeticiones que puedan generar dosis adicionales sin una razón clínica válida. De esta manera, cada exposición tiene un propósito definido y justificado.

Principio de optimización y enfoque ALARA

El principio de optimización indica que, una vez que la exposición está justificada, la dosis debe mantenerse lo más baja posible, considerando factores técnicos y clínicos. Este principio se aplica a través del enfoque ALARA (As Low As Reasonably Achievable), promovido por la Agencia Internacional de Energía Atómica y la

Organización Mundial de la Salud como base de la seguridad radiológica en medicina (53, 45).

En cirugías asistidas con Arco en C, aplicar el principio ALARA implica acciones concretas como:

- * Reducir el tiempo total de fluoroscopia.
- * Preferir la fluoroscopia pulsada en lugar de la continua.
- * Colimar adecuadamente el haz para limitar el área irradiada.
- * Ajustar correctamente los parámetros técnicos (kV, mA y frecuencia de pulso).
- * Colocar el equipo de forma adecuada para disminuir la radiación dispersa.

En todas estas medidas, el técnico radiólogo cumple un rol fundamental. Su experiencia y criterio técnico influyen directamente en la reducción de la dosis que recibe el paciente y también en la disminución de la exposición del personal quirúrgico (46).

Por ello, la optimización no es una acción puntual, sino un proceso continuo que requiere supervisión constante durante toda la cirugía.

Principio de limitación de dosis

El principio de limitación de dosis establece valores máximos de exposición permitidos para los trabajadores ocupacionalmente expuestos y para el público en general. Aunque este principio no se aplica directamente a los pacientes —ya que en ellos la exposición depende de la necesidad clínica—, sí es esencial para proteger al personal que participa con frecuencia en procedimientos con fluoroscopia (48).

Las normas internacionales recomiendan el uso de dosímetros personales y el control periódico de las dosis acumuladas. Estas medidas deben formar parte de los protocolos de seguridad radiológica del quirófano, con el fin de proteger la salud del equipo de trabajo a largo plazo (44).

Protocolos de seguridad radiológica en el quirófano

Protocolos operativos y uso de equipo de protección

Los protocolos actuales sobre seguridad radiológica en quirófano establecen el uso obligatorio de equipo de protección personal, como mandiles plomados, protectores tiroideos y gafas plomadas, especialmente en procedimientos de larga duración o alta complejidad. La evidencia científica demuestra que el uso adecuado de estos dispositivos reduce de manera significativa la dosis ocupacional recibida por el personal de salud (43).

El técnico radiólogo desempeña un papel fundamental en la verificación del cumplimiento de estos protocolos, asegurando que el equipo de protección esté disponible y se utilice correctamente antes y durante el procedimiento.

Control de calidad y mantenimiento del equipo

Otro componente esencial de los protocolos de seguridad radiológica es el control de calidad del Arco en C. La normativa recomienda realizar evaluaciones periódicas del equipo para verificar la estabilidad de los parámetros de exposición, la calidad de imagen y el correcto funcionamiento de los sistemas de reducción de dosis (41-44).

La participación del técnico radiólogo en estos procesos resulta clave, ya que su conocimiento técnico permite identificar desviaciones en el desempeño del equipo y reportarlas oportunamente para su corrección.

Integración de la normativa en la práctica clínica

La revisión de la normativa y protocolos actuales evidencia que la seguridad radiológica en quirófano no depende exclusivamente de la existencia de lineamientos escritos, sino de su aplicación efectiva en la práctica clínica cotidiana. Diversos estudios señalan que la capacitación continua del personal y la cultura de seguridad radiológica son determinantes para el cumplimiento de las normas (49).

En este sentido, el técnico radiólogo se posiciona como un agente clave en la implementación de la normativa, al traducir los principios teóricos de la radioprotección en acciones concretas durante el uso del Arco en C.

La revisión de la normativa y protocolos actuales sobre seguridad radiológica en quirófano relacionados con el uso del Arco en C permite concluir que existe un marco regulatorio sólido, sustentado principalmente por la IAEA, la ICRP y la OMS. Dicho marco establece principios claros de justificación, optimización y limitación de dosis, cuya aplicación práctica depende en gran medida del desempeño del técnico radiólogo y de su integración efectiva dentro del equipo quirúrgico.

7.3 Impacto del técnico radiólogo en la calidad de imagen y tiempos operatorios

Evaluar la evidencia científica sobre el impacto del técnico radiólogo en la calidad de imagen y los tiempos operatorios durante procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C

Introducción al impacto del técnico radiólogo en procedimientos quirúrgicos fluoroscópicos

El uso del Arco en C en quirófano ha incrementado de forma significativa en diversas especialidades quirúrgicas debido a su capacidad para proporcionar imágenes dinámicas en tiempo real, lo que facilita la precisión diagnóstica y terapéutica. No obstante, la calidad de la imagen obtenida y la eficiencia del procedimiento dependen en gran medida de factores técnicos y humanos, entre los que destaca la participación del técnico radiólogo. La evidencia científica contemporánea señala que la correcta operación del equipo, la selección adecuada de parámetros técnicos y la coordinación con el equipo quirúrgico influyen directamente en la calidad de imagen, el tiempo operatorio y la seguridad radiológica (48-46).

En este contexto, evaluar el impacto del técnico radiólogo permite comprender su contribución como profesional especializado dentro del equipo quirúrgico y sustentar

la necesidad de fortalecer su formación y desempeño en entornos de alta complejidad tecnológica.

Conceptualización de la calidad de imagen en fluoroscopia intraoperatoria

La calidad de la imagen en los procedimientos asistidos con Arco en C se define como la capacidad del sistema para producir imágenes con suficiente resolución espacial, contraste y bajo nivel de ruido, permitiendo la correcta visualización de estructuras anatómicas y dispositivos quirúrgicos. De acuerdo con Bushberg et al., estos parámetros están relacionados con la correcta selección de factores técnicos como kilovoltaje, miliamperaje, tiempo de exposición y la perfecta colimación (41).

El técnico radiólogo desempeña un papel importante en la optimización de estos parámetros, ya que su conocimiento técnico le permite ajustar de manera adecuada el equipo de acuerdo con las necesidades específicas del procedimiento, evitando exposiciones innecesarias y repeticiones que deterioran la calidad de imagen y aumentan la dosis de radiación (42).

Evidencia científica sobre el impacto del técnico radiólogo en la calidad de imagen

Diversos estudios señalan que la participación de personal radiológico capacitado en procedimientos con fluoroscopia se asocia con mejoras importantes en la calidad de la imagen. Según Mahesh, los profesionales con formación específica en fluoroscopia médica logran imágenes más uniformes y confiables desde el punto de vista diagnóstico. Esto se debe a que reducen la variabilidad técnica, ajustan mejor los parámetros de exposición y cometen menos errores relacionados con el posicionamiento del equipo (46).

En el entorno quirúrgico, también se ha demostrado que aspectos clave como la correcta alineación del Arco en C, la relación adecuada entre el foco y el paciente, y la colimación precisa del haz dependen en gran medida de la experiencia del operador.

Cuando estos elementos se manejan correctamente, se obtiene una mejor definición anatómica y se reducen artefactos o distorsiones que podrían dificultar la interpretación de las imágenes durante la cirugía (50).

Por el contrario, algunos estudios comparativos indican que cuando el Arco en C es operado por personal sin formación especializada en radiología, aumenta el número de repeticiones, la calidad de imagen es más variable y existe menor estandarización en la técnica. Esto puede afectar la toma de decisiones en tiempo real y disminuir tanto la eficiencia del procedimiento como la seguridad radiológica (49).

Relación entre el técnico radiólogo y los tiempos operatorios

El tiempo operatorio es un indicador importante de la eficiencia del procedimiento y de la seguridad del paciente. La evidencia científica muestra que cuando una cirugía se prolonga más de lo necesario, aumenta el riesgo de complicaciones durante el periodo perioperatorio, así como la probabilidad de infecciones del sitio quirúrgico. Además, en procedimientos guiados por fluoroscopia, un mayor tiempo quirúrgico también implica un incremento en la exposición radiológica acumulada tanto para el paciente como para el equipo de salud. En este contexto, la participación del técnico radiólogo incide directamente en la optimización de los tiempos quirúrgicos. Una operación ágil y técnicamente competente del Arco en C, junto con la anticipación de proyecciones requeridas y la preparación oportuna del equipo, reduce interrupciones y maniobras correctivas durante el acto operatorio. Asimismo, la comunicación clara y coordinada con el cirujano favorece la obtención rápida de imágenes diagnósticamente adecuadas, evitando repeticiones innecesarias y retrasos operativos (51).

De esta manera, la eficiencia técnica no solo impacta en la duración del procedimiento, sino que también contribuye a mejorar los estándares de seguridad radiológica y a optimizar la dinámica del equipo quirúrgico en su conjunto.

Estudios en cirugía ortopédica y traumatológica han mostrado que la adecuada preparación del equipo, la anticipación de proyecciones requeridas y la rápida obtención de imágenes de calidad disminuyen interrupciones durante el acto quirúrgico, optimizando el flujo del procedimiento (54).. Estas funciones recaen de

manera directa en el técnico radiólogo, cuya experiencia permite minimizar ajustes innecesarios y repeticiones.

Impacto indirecto en la seguridad del paciente y del personal

La mejora en la calidad de imagen y la reducción de los tiempos operatorios tienen un impacto indirecto pero significativo en la seguridad radiológica. Menores tiempos de fluoroscopia se traducen en una reducción significativa de la dosis acumulada tanto para el paciente como para el personal ocupacionalmente expuesto. Miller et al. destacan que la participación activa de profesionales capacitados en radiología es un factor determinante para disminuir la dosis ocupacional en procedimientos fluoroscópicos (43).

El técnico radiólogo, al aplicar principios de optimización y ALARA, contribuye a una práctica quirúrgica más segura, alineada con las recomendaciones de organismos internacionales como la IAEA y la ICRP (44).

Comparación entre quirófanos con y sin personal radiológico especializado

La literatura internacional sugiere diferencias significativas entre quirófanos que cuentan con técnicos radiólogos especializados y aquellos en los que la fluoroscopia es operada por personal sin formación radiológica formal. Estudios observacionales reportan que la ausencia de técnicos radiólogos se asocia con mayor variabilidad en la calidad de imagen, incrementos en el tiempo de fluoroscopia y mayor exposición radiológica innecesaria (44).

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar de manera sistemática al técnico radiólogo en el equipo quirúrgico, no solo como operador del equipo, sino como asesor técnico en la obtención de la imagen y garantizar la protección radiológica.

Limitaciones de la evidencia y enfoque del estudio

Es importante mencionar que gran parte de la evidencia disponible proviene de estudios observacionales, revisiones narrativas y reportes institucionales. Esto significa que los resultados no siempre pueden generalizarse a todos los contextos. Sin embargo, el hecho de que distintos estudios, realizados en diferentes entornos clínicos, presenten hallazgos similares refuerza la idea de que la participación del técnico radiólogo se relaciona de manera constante con una mejor calidad de imagen y con una reducción en los tiempos operatorios (42, 51). La coincidencia de resultados en varios hospitales y escenarios le da mayor respaldo a esta tendencia.

Desde el punto de vista metodológico, este trabajo tiene un enfoque documental, descriptivo y cualitativo. Por lo tanto, el análisis realizado permite identificar patrones comunes y proponer recomendaciones basadas en la evidencia revisada, pero no busca establecer relaciones de causa y efecto de manera directa. El objetivo principal es organizar e interpretar críticamente la información disponible.

En conjunto, la literatura analizada muestra que el técnico radiólogo cumple un papel importante en la calidad técnica de la imagen y en la eficiencia de los procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C. Su formación y experiencia influyen en el ajuste adecuado de los parámetros de exposición, en la disminución de repeticiones innecesarias y en la reducción del tiempo total de la cirugía. Todo esto contribuye a mejorar la seguridad radiológica y el desempeño del equipo quirúrgico.

7.4 Recomendaciones para fortalecer la formación y desempeño del técnico radiólogo en entornos quirúrgicos

El uso cada vez más frecuente del Arco en C en distintos tipos de cirugías ha aumentado la complejidad técnica de los procedimientos y también los riesgos relacionados con la exposición a radiación ionizante durante la intervención. Frente a esta realidad, se requiere un perfil profesional más especializado.

En este contexto, el técnico radiólogo no solo debe saber manejar el equipo de forma básica, sino también contar con conocimientos más avanzados en fluoroscopia intraoperatoria, optimización de dosis, control de calidad y aplicación rigurosa de los

principios de protección radiológica. Esto permite responder de manera más segura y eficiente a las exigencias del entorno quirúrgico actual.

En consecuencia, se recomienda fortalecer los programas de formación académica mediante la incorporación de módulos específicos sobre manejo del Arco en C en quirófano, física aplicada a la fluoroscopia, dosimetría clínica y gestión del riesgo radiológico. Asimismo, resulta pertinente promover escenarios de simulación clínica que permitan desarrollar habilidades técnicas y comunicativas en un entorno controlado, favoreciendo la toma de decisiones bajo condiciones similares a la práctica real.

De igual manera, es necesario implementar programas de educación continua y actualización periódica, especialmente ante la integración de tecnologías emergentes como sistemas digitales avanzados y algoritmos de optimización asistidos por inteligencia artificial. La capacitación permanente garantiza no solo la competencia técnica, sino también la adaptación a innovaciones tecnológicas que modifican los flujos operativos en quirófano.

Desde el ámbito institucional, se recomienda establecer protocolos formales que definan claramente las funciones, responsabilidades y autoridad técnica del radiólogo en el entorno quirúrgico, incluyendo su participación activa en comités de seguridad radiológica. El reconocimiento normativo y organizacional de su rol contribuye a mejorar la coordinación interdisciplinaria y a consolidar una cultura de seguridad centrada en el paciente.

Se sugiere fomentar líneas de investigación orientadas a evaluar de manera sistemática el impacto del desempeño del técnico radiólogo en indicadores clínicos y operativos, con el fin de fortalecer la base científica que respalda su integración estratégica dentro del equipo quirúrgico.

La evidencia científica y los organismos internacionales coinciden en que la formación insuficiente del personal radiológico constituye un factor de riesgo tanto para la calidad de la imagen como para la seguridad del paciente y del personal de salud (48, 46).

Por ello, resulta necesario proponer recomendaciones orientadas a fortalecer la formación académica, la capacitación continua y el desempeño profesional del técnico radiólogo en entornos quirúrgicos, en concordancia con los estándares internacionales de seguridad radiológica.

Fortalecimiento de la formación académica inicial

Incorporación de contenidos específicos sobre fluoroscopia quirúrgica

Una de las principales recomendaciones derivadas de la revisión documental es la incorporación formal de contenidos específicos sobre fluoroscopia intraoperatoria en los planes de estudio de la carrera de técnico radiólogo. Autores como Fauber y Bushberg señalan que la formación tradicional suele centrarse en estudios de imagen convencionales, dejando en segundo plano el uso avanzado de equipos fluoroscópicos (41, 42).

Se recomienda que los programas académicos incluyan asignaturas o módulos dedicados al manejo del Arco en C, abordando aspectos como principios físicos de la fluoroscopia, control automático de exposición, optimización de la imagen y reducción de dosis, con énfasis en escenarios quirúrgicos reales.

Enfoque en protección radiológica ocupacional

La formación inicial debe reforzar los principios de protección radiológica ocupacional, especialmente en contextos de exposición prolongada como el quirófano. La ICRP y la IAEA destacan que el conocimiento profundo de los principios de justificación, optimización y limitación de dosis es fundamental para prevenir efectos adversos a largo plazo en el personal ocupacionalmente expuesto y personal del área de la salud (50, 49).

En este sentido, se recomienda integrar contenidos sobre dosimetría personal, interpretación de reportes dosimétricos y uso adecuado del EPP, equipo de protección radiológica desde la etapa formativa.

Capacitación continua y actualización profesional

Programas de educación continua basados en evidencia

La rápida evolución tecnológica de los equipos de fluoroscopia hace indispensable la capacitación continua del técnico radiólogo. La literatura señala que los programas de educación continua basados en evidencia científica contribuyen a mejorar el desempeño técnico y a reducir errores operativos (51).

Se recomienda que las instituciones de salud implementen programas periódicos de actualización que incluyan talleres prácticos, simulaciones y revisión de casos clínicos relacionados con el uso del Arco en C en distintas especialidades quirúrgicas.

Certificación y acreditación profesional

Otra recomendación relevante es promover sistemas de certificación o acreditación específica en fluoroscopia quirúrgica. Diversos estudios indican que la certificación profesional se asocia con mayores niveles de competencia técnica y cumplimiento de los protocolos de seguridad radiológica (54).

Aunque estos sistemas no están plenamente establecidos en todos los países, su adopción progresiva podría contribuir a estandarizar el desempeño del técnico radiólogo y a reconocer su rol especializado dentro del equipo quirúrgico.

Recomendaciones para el desempeño profesional en quirófano

Integración activa en el equipo quirúrgico

Para un mejor desempeño del técnico radiólogo requiere una integración activa y reconocida dentro del equipo quirúrgico. La evidencia nos muestra que una comunicación efectiva entre cirujanos, anestesiólogos y personal radiológico mejora la eficiencia del procedimiento y reduce los tiempos operatorios (43).

Se recomienda fomentar dinámicas de trabajo interdisciplinarias, en las que el técnico radiólogo participe en la planificación del procedimiento, anticipando las proyecciones

necesarias y proponiendo estrategias para la optimización de la imagen y la reducción de dosis.

Aplicación sistemática de protocolos de seguridad radiológica

El cumplimiento riguroso de los protocolos de seguridad radiológica constituye un componente esencial del desempeño profesional. La OMS y la IAEA subrayan que la aplicación sistemática de estos protocolos reduce de manera significativa la exposición innecesaria a radiación (46, 49).

Se recomienda que el técnico radiólogo asuma un rol activo en la verificación del uso de equipo de protección personal, la correcta colocación del Arco en C y el monitoreo del tiempo de fluoroscopia durante el procedimiento.

Recomendaciones institucionales y organizacionales

Desarrollo de políticas internas de radioprotección

A nivel institucional, se recomienda el desarrollo de políticas internas claras sobre el uso del Arco en C en quirófano, alineadas con la normativa internacional vigente. Estas políticas deben definir funciones, responsabilidades y mecanismos de supervisión, con participación activa del personal radiológico (44).

La evidencia sugiere que las instituciones con políticas formales de radioprotección presentan menores niveles de exposición ocupacional y mayor aplicación a los principios ALARA (45).

Evaluación periódica del desempeño y control de calidad

La evaluación periódica del desempeño del técnico radiólogo y del funcionamiento del equipo constituye otra recomendación clave. El control de calidad del Arco en C y la retroalimentación continua permiten identificar áreas de mejora y prevenir fallas técnicas que afecten la calidad de imagen y la seguridad radiológica (43, 51).

Proyección y pertinencia de las recomendaciones

Las recomendaciones propuestas se sustentan en la evidencia científica revisada y responden a las necesidades actuales de los entornos quirúrgicos asistidos con Arco en C. Su implementación contribuiría a fortalecer la formación y una mejora significativa el desempeño del técnico radiólogo, impactando positivamente en la calidad de imagen, la eficiencia quirúrgica y la seguridad radiológica del paciente, el equipo quirúrgico y del personal de salud.

Desde una perspectiva prospectiva, las recomendaciones planteadas se alinean con la tendencia internacional orientada a la profesionalización y especialización de los técnicos radiólogos, reconociendo su función estratégica dentro de los sistemas de salud contemporáneos. La evolución tecnológica de los equipos de imagen intraoperatoria y el incremento en los estándares de seguridad radiológica exigen perfiles profesionales con competencias cada vez más específicas y actualizadas.

En este sentido, formular propuestas dirigidas al fortalecimiento de la formación académica, la capacitación continua, el desempeño técnico y el reconocimiento institucional contribuye a consolidar el rol del técnico radiólogo como un elemento esencial en los procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C. La implementación sistemática de estas estrategias no solo responde a una necesidad formativa, sino que constituye una medida estructural para garantizar prácticas clínicas seguras, eficientes y alineadas con los estándares internacionales de protección y seguridad radiológica.

7.5 Análisis de resultados

El análisis de la información recopilada a través de la revisión documental permitió identificar tendencias claras sobre el papel del técnico radiólogo en cirugías asistidas con Arco en C. En general, los resultados muestran que su trabajo influye en tres aspectos principales: la seguridad radiológica, la calidad técnica de la imagen y la eficiencia del procedimiento quirúrgico. La coincidencia de estos hallazgos en diferentes fuentes respalda la coherencia del estudio y confirma que los objetivos planteados fueron pertinentes.

En relación con el Objetivo 1, se evidenció que el trabajo del técnico radiólogo en quirófano no se limita solo a manejar el equipo. Al organizar sus funciones en fases preoperatoria, intraoperatoria y postoperatoria, se pudo observar que su rol es más amplio. Incluye la revisión técnica del equipo, la planificación previa, el ajuste de parámetros durante la cirugía y la verificación posterior del funcionamiento. Esta descripción coincide con lo señalado en la literatura internacional, donde se reconoce al técnico radiólogo como responsable de la calidad de imagen y de la reducción de exposiciones innecesarias (41, 42). También se confirma que el buen desempeño en estas funciones depende de su formación y experiencia.

Respecto al Objetivo 2, la revisión mostró que existe un marco normativo sólido basado en las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica y la Organización Mundial de la Salud. Sin embargo, contar con normas no es suficiente si no se aplican correctamente en el quirófano. En este punto, el técnico radiólogo cumple un papel clave, ya que es quien pone en práctica los principios de justificación, optimización y limitación de dosis, especialmente bajo el enfoque ALARA. Algunos estudios indican que cuando no existe capacitación adecuada en fluoroscopia quirúrgica, aumentan las dosis ocupacionales y la variabilidad técnica (43, 44), lo que refuerza la importancia de una formación especializada.

En cuanto al Objetivo 3, la evidencia señala que la presencia de personal radiológico capacitado se relaciona con mejoras en la calidad de imagen y con una reducción de los tiempos operatorios. Ajustar correctamente los parámetros técnicos, colimar el haz de manera precisa y anticipar las proyecciones necesarias ayuda a disminuir repeticiones y a mantener un flujo quirúrgico más ordenado. Estos resultados coinciden con estudios que muestran menor exposición radiológica y mayor eficiencia cuando el Arco en C es operado por personal especializado (45, 46). En este sentido, la calidad de la imagen intraoperatoria no depende solo del equipo, sino también de la competencia del profesional que lo maneja.

Además, se identificó una relación indirecta entre la reducción del tiempo operatorio y la seguridad del paciente. Cuando la cirugía dura menos tiempo, se limita la dosis

acumulada y disminuye el riesgo de complicaciones asociadas a procedimientos prolongados (47). Por lo tanto, el desempeño eficiente del técnico radiólogo influye también en este aspecto.

Finalmente, en relación con el Objetivo 4, los resultados muestran la necesidad de fortalecer la formación académica, la actualización continua y el reconocimiento institucional del técnico radiólogo en el entorno quirúrgico. La evidencia sugiere que los programas de educación continua y las políticas institucionales de protección radiológica se asocian con mayor cumplimiento de protocolos y mejores estándares de desempeño (48, 49). Implementar estas estrategias no solo mejora el trabajo individual, sino también la calidad general de la atención quirúrgica.

En conjunto, el análisis confirma que los cuatro objetivos del estudio están relacionados entre sí y que los resultados son coherentes con el enfoque documental utilizado. La evidencia revisada permite concluir que el técnico radiólogo cumple un rol estratégico en los procedimientos asistidos con Arco en C, influyendo directamente en la calidad de imagen, la eficiencia del procedimiento y la seguridad radiológica. Como proyección futura, sería importante desarrollar estudios empíricos que midan con mayor precisión variables como la dosis efectiva, el tiempo de fluoroscopia y la duración total de la cirugía, para fortalecer aún más la base científica en este campo.

8. Discusión

Esta revisión sistemática tuvo como objetivo analizar la importancia y el rol del técnico radiólogo en el uso del Arco en C dentro del quirófano, a partir de la evaluación organizada de la evidencia científica disponible. Los resultados apoyan la hipótesis alternativa (H_1) y permiten comparar de forma crítica los hallazgos con los antecedentes revisados, identificando coincidencias claras y también aportes que amplían la comprensión del tema.

Los resultados muestran que el trabajo del técnico radiólogo puede entenderse en dos grandes dimensiones. La primera es técnico-operativa, relacionada con el manejo

adecuado del equipo y el ajuste correcto de los parámetros de exposición. La segunda es estratégica, vinculada con el apoyo al equipo quirúrgico y la gestión de la seguridad radiológica. Esta visión coincide con lo señalado por López et al. (2023) (13) y Martínez et al. (2024) (17), quienes resaltaron la importancia de la calibración del equipo y del conocimiento anatómico aplicado para lograr imágenes de buena calidad.

Sin embargo, este análisis no se limita a describir funciones, sino que examina cómo estas se relacionan entre sí. Estudios previos indicaron que la participación del técnico radiólogo se asocia con una reducción del tiempo de fluoroscopia (15). En esta revisión se profundiza en las razones de ese efecto. Se identificó que existe una relación directa entre la calibración previa —que disminuye repeticiones—, el posicionamiento correcto del Arco en C —que permite obtener la proyección adecuada desde el primer intento— y una mejor organización del trabajo intraoperatorio —que evita movimientos y ajustes innecesarios—.

Por lo tanto, la labor del técnico radiólogo no debe verse como acciones aisladas, sino como un proceso integrado que influye al mismo tiempo en la calidad de la imagen, en la duración del procedimiento y en la seguridad radiológica. Esta perspectiva permite entender su rol como una gestión técnica y logística dentro del quirófano, más allá de tareas puntuales.

En relación con la reducción de dosis (20, 35), los resultados confirman lo planteado por Rojas et al. (2023) (19) y Lima et al. (2023) (20) sobre la importancia del técnico radiólogo en la protección del paciente y del personal. No obstante, la discusión se amplía al considerar un problema estructural identificado tanto en los antecedentes (21) como en esta revisión: la falta de autoridad formal dentro del quirófano.

Aunque estudios previos ya habían mencionado esta limitación, el análisis actual la relaciona directamente con un mayor riesgo radiológico que podría evitarse. La existencia de protocolos internacionales, como los promovidos por la Agencia Internacional de Energía Atómica y la Comisión Internacional de Protección Radiológica, no garantiza por sí sola su cumplimiento si el profesional no cuenta con respaldo institucional para hacerlos valer. En este sentido, la revisión no solo confirma

el problema, sino que resalta la necesidad de abordarlo como una prioridad en las políticas de seguridad del paciente.

Por otra parte, los resultados relacionados con la insuficiente formación académica (9, 23) y la nueva brecha asociada a la inteligencia artificial (40) amplían lo señalado por Gómez et al. (2023) (9) y Ruiz et al. (2024) (23). Si antes se hablaba de una desconexión entre la formación académica y la práctica clínica, ahora se suma un desafío adicional: la rápida incorporación de la inteligencia artificial en el ámbito sanitario. La integración acelerada de estas tecnologías está generando una nueva brecha, ya que muchos planes de estudio tradicionales no contemplan estas competencias. Esto sugiere que el problema no es solo la actualización de contenidos, sino también la capacidad del sistema educativo para adaptarse con rapidez a los cambios tecnológicos. En consecuencia, la formación del técnico radiólogo enfrenta un doble reto: cerrar la brecha actual entre teoría y práctica, y anticiparse a las nuevas demandas que surgirán con la evolución tecnológica en el entorno quirúrgico.

9. Conclusiones

El hallazgo sobre el ahorro aproximado de \$1,200 USD por procedimiento (31) aporta un respaldo cuantitativo importante a lo que antes se describía principalmente de manera cualitativa. Mientras investigaciones previas señalaban que la participación del técnico radiólogo mejoraba la eficiencia, el estudio de Costantini et al. (2023) (31) demuestra que esa eficiencia también puede medirse en términos económicos. Esto permite pasar de una descripción teórica a un argumento concreto que puede ser considerado por la gestión hospitalaria.

Al comparar este posible ahorro con la permanencia de barreras institucionales y formativas, se observa una contradicción. Muchos sistemas de salud buscan reducir gastos, pero al mismo tiempo no siempre invierten en la capacitación especializada ni en la formalización del rol del técnico radiólogo. Desde el punto de vista de la gestión sanitaria, no fortalecer este perfil profesional podría interpretarse como una oportunidad de mejora que no está siendo aprovechada.

En relación con las dificultades de comunicación y la subutilización de competencias (25, 26), los resultados confirman lo descrito en estudios cualitativos recientes sobre la llamada “tensión colaborativa”. Aunque existe evidencia técnica que respalda el valor del técnico radiólogo, su integración plena dentro del equipo quirúrgico sigue siendo un desafío. La utilidad demostrada no siempre se traduce automáticamente en reconocimiento o autoridad. Para que esto ocurra, se requieren cambios en las dinámicas organizacionales y en la cultura del entorno quirúrgico.

Al comparar los resultados obtenidos con los antecedentes revisados, no se identifican contradicciones importantes, sino más bien coincidencias consistentes. Sin embargo, este trabajo aporta una mirada más integral. En lugar de analizar por separado temas como la formación, la radioprotección o la comunicación interdisciplinaria, se evidencia que todos estos aspectos están relacionados. Una formación insuficiente puede afectar el desempeño técnico; un desempeño limitado puede debilitar la credibilidad profesional; y la falta de credibilidad puede reducir la autoridad necesaria para hacer cumplir medidas de seguridad radiológica. De esta forma, se genera un ciclo que impacta tanto en la comunicación como en la eficiencia del procedimiento.

Por ello, la principal contribución de este análisis es mostrar que el problema tiene una naturaleza sistémica y que las soluciones también deben ser integrales. Es necesario actualizar la formación de manera constante, otorgar respaldo formal dentro de los protocolos institucionales y considerar la evidencia económica en la planificación estratégica. Solo así el potencial de ahorro y mejora podrá reflejarse en cambios reales.

En síntesis, la evidencia confirma que el aporte del técnico radiólogo en el uso del Arco en C es consistente y estratégico. No obstante, para que este potencial se materialice plenamente, se requieren transformaciones que involucren aspectos educativos, normativos, organizacionales y culturales del sistema de salud.

A partir del análisis realizado, se concluye que la hipótesis del estudio se confirma. El desempeño del técnico radiólogo en procedimientos quirúrgicos asistidos con Arco en C influye de manera significativa en la calidad de la imagen, en la eficiencia del

procedimiento y en la seguridad radiológica, tanto del paciente como del personal de salud.

En primer lugar, se concluye que el técnico radiólogo cumple un rol especializado dentro del quirófano que va más allá del manejo básico del equipo. Su participación abarca las fases preoperatoria, intraoperatoria y postoperatoria, incluyendo la preparación del equipo, la selección y ajuste de parámetros técnicos, la coordinación con el equipo quirúrgico y la aplicación de medidas de protección radiológica. Esta intervención resulta fundamental para garantizar procedimientos seguros y eficientes.

En cuanto a la normativa, existe un marco internacional sólido respaldado por la Agencia Internacional de Energía Atómica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica y la Organización Mundial de la Salud, que establece principios de justificación, optimización y limitación de dosis. Sin embargo, su aplicación efectiva depende en gran medida del conocimiento y la actuación del técnico radiólogo. La implementación práctica del enfoque ALARA se concreta principalmente a través de sus decisiones y acciones durante el procedimiento.

También se concluye que la evidencia científica respalda que su participación mejora la calidad de la imagen fluoroscópica y contribuye a reducir los tiempos operatorios. La correcta selección de parámetros, la colimación adecuada y la anticipación de las proyecciones disminuyen repeticiones innecesarias y optimizan el desarrollo de la cirugía. Esto confirma que la eficiencia y la calidad no dependen solo del equipo, sino también de la competencia del profesional que lo opera.

De forma indirecta, la mejora en la calidad de imagen y la reducción del tiempo quirúrgico se asocian con una menor exposición radiológica, lo que incrementa la seguridad tanto del paciente como del personal expuesto. En este sentido, el técnico radiólogo actúa como un elemento clave en la prevención de riesgos dentro del quirófano.

Finalmente, se concluye que es necesario fortalecer la formación académica, la capacitación continua y el reconocimiento institucional de este profesional. Invertir en

su desarrollo no solo beneficia al colectivo, sino que también mejora la calidad global de la atención quirúrgica.

Como línea futura de investigación, se propone realizar estudios cuantitativos que midan con mayor precisión variables como la dosis radiológica, la duración del procedimiento y la frecuencia de repeticiones fluoroscópicas. Esto permitiría ampliar y consolidar la base científica en este campo.

10. Bibliografía.

- (1) Andersen PE**, Royen RE, Kahn EN. Advances in Intraoperative Imaging: C-Arm Cone Beam CT Applications in Surgery. J Med Imaging Radiat Sci. 2022;53(1):45-60. doi:10.1016/j.jmir.2021.11.005
- (2) Vano E, Sánchez R, Fernández JM. Radiation Protection in the Operating Room: Challenges and Strategies for Interventional Fluoroscopy. Phys Med. 2023;105:102514. doi:10.1016/j.ejmp.2022.12.006
- (3) International Atomic Energy Agency (IAEA). Training Course Series No. 64: Radiation Protection in Fluoroscopy. Vienna: IAEA; 2022. <https://www.iaea.org/publications/13640/radiation-protection-in-fluoroscopy>
- (4) World Health Organization. Technical Manual on Radiation Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Geneva: WHO; 2023. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073711>
- (5) Ramírez-García Luna JL, Martínez-Jiménez MA, García-Ramírez JL. The Role of Radiological Technologists in Image-Guided Surgery in Mexican Public

- Hospitals: A National Survey. *J Radiol Nurs.* 2023;42(2):83-88. doi:10.1016/j.jradnu.2023.02.003
- (6) Pan American Health Organization. Radiology and Diagnostic Imaging Services in Latin America and the Caribbean: Availability and Access Gaps. Washington, D.C.: PAHO; 2023. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/57718>
- (7) Sánchez R, Vano E, Fernández JM, et al. Optimization of Radiation Protection in Orthopedic Surgery Using C-Arms: A Multicenter Study. *Radiol Prot.* 2024;44(1):011501. doi:10.1088/1361-6498/ad0a8f
- (8) Miller DL, Schueler BA, Balter S, et al. Radiation Safety in the Operating Room: Current Practices and Future Directions. *Health Phys.* 2023;125(5):345-352. doi:10.1097/HP.0000000000001712
- (9) Gómez-Cardona D, Reyes-Rodríguez A, Li Q, et al. Educational Gaps in Radiologic Technology Programs in Latin America: A Comparative Analysis. *Radiography.* 2023;29(2):345-351. doi:10.1016/j.radi.2023.01.014
- (10) Koller CJ, Etheridge J, Treadwell M, et al. Radiation Protection Practices and Related Challenges in Interventional Radiology Suites Across Europe. *Eur Radiol.* 2023;33(1):642-651. doi:10.1007/s00330-022-09022-9
- (11) International Commission on Radiological Protection. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 145. *Ann ICRP.* 2022;51(1-2):1-470. doi:10.1177/01466453221081891
- (12) Kim JH, Lee HJ, Park SH, et al. Effectiveness of Radiation Safety Training Program for Operating Room Staff in Low-Resource Settings. *J Radiol Nurs.* 2024;43(1):45-52. doi:10.1016/j.jradnu.2023.11.003
- (13) López PO, Dauer LT, Martin CJ, et al. Quality Assurance and Dosimetry in Fluoroscopy: Impact of Equipment Calibration on Image Quality and Patient Dose. *Med Phys.* 2023;50(3):1567-1578. doi:10.1002/mp.16122
- (14) Vañó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Perspective on Patient Tissue Reactions from Fluoroscopically Guided Procedures. *Ann ICRP.* 2021;50(1_suppl):5-8. doi:10.1177/01466453211020823

- (15) Rossi UG, Cariatì M, Ierardi AM, et al. Reducing Fluoroscopy Time and Radiation Dose in Orthopedic Surgery: The Role of the Radiologic Technologist. *J Clin Med*. 2022;11(15):4572. doi:10.3390/jcm11154572
- (16) Hirsch JA, Schaefer PW, Leslie-Mazwi TM, et al. The Evolving Role of the Radiology Technologist in the Era of Advanced Intraoperative Imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2023;44(3):E18-E25. doi:10.3174/ajnr.A7783
- (17) Martínez-Alvarez R, Martínez-Moreno NE, Gilete-Tejero IJ, et al. Accuracy of Pedicle Screw Placement Using C-Arm Cone-Beam CT Navigation in Spinal Surgery. *Neurosurgery*. 2024;94(1):167-175. doi:10.1227/neu.0000000000002643
- (18) Díaz O, Morales J, Vañó E. Optimization of Technical Parameters in Neurointerventional Procedures: A Dose Reduction Strategy. *Neurointervention*. 2023;18(1):29-37. doi:10.5469/neuroint.2022.00444
- (19) Rojas PM, Ubeda C, Vano E. Effectiveness of Radiation Protective Equipment in Interventional Cardiology: A Systematic Review. *Radiat Prot Dosimetry*. 2023;199(3):234-241. doi:10.1093/rpd/ncac223
- (20) Lima FR, Oliveira AC, Alves AGF, et al. Radiation Dose Reduction to Surgical Staff During Fluoroscopically Guided Orthopedic Procedures in Brazil. *Radiat Phys Chem*. 2023;202:110518. doi:10.1016/j.radphyschem.2022.110518
- (21) Ortega R, Benítez D, Valverde C. Institutional Barriers for Radiologic Technologists in Public Hospitals: A Latin American Perspective. *Health Policy Plan*. 2024;39(1):98-107. doi:10.1093/heapol/czad090
- (22) European Society of Radiology. ESR EuroSafe Imaging: Radiation Protection and Safety in the Operating Room. *Insights Imaging*. 2023;14(1):15. doi:10.1186/s13244-023-01363-4
- (23) Ruiz-Cruces R, Pérez-Martínez M, Díez-de los Ríos MJ, et al. Specialized Training in Radiation Protection for Radiologic Technologists in Latin America: Current Status and Needs. *Radioprotection*. 2024;59(1):33-39. doi:10.1051/radiopro/2023030

- (24)Chávez AE, Rojas PM, Ubeda C. Access to Radiation Protection Training in Rural Areas: A Mixed-Methods Study. *Rural Remote Health*. 2023;23(2):8123. doi:10.22605/RRH8123
- (25)Jiménez-Ballesteros J, García-Garzón JR, García-Ortega FJ. Communication Between Surgeons and Radiologic Technologists During Image-Guided Procedures: A Critical Factor for Patient Safety. *J Multidiscip Healthc*. 2023;16:2543-2553. doi:10.2147/JMDH.S422773
- (26)Navarro-Pérez CF, González-Santos J, Rodríguez-Merchán EC. Job Satisfaction and Burnout Among Radiologic Technologists in Operating Rooms: A National Survey. *Work*. 2024;77(1):267-276. doi:10.3233/WOR-220456
- (27)Lee CI, Enzmann DR, Bhargavan-Chaisson M, et al. Global Trends in C-Arm Utilization and Radiation Safety Practices in Orthopedic Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2023;105(5):405-412. doi:10.2106/JBJS.22.00654
- (28)Vargas C, Fernández R, Rojas P. Error Reduction in Orthopedic Surgery Through Standardized Fluoroscopy Protocols Led by Radiologic Technologists. *Rev Panam Salud Publica*. 2023;47:e112. doi:10.26633/RPSP.2023.112
- (29)Pan American Health Organization. Radiation Safety Manual for Health Professionals. Washington, D.C.: PAHO; 2023. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/57719>
- (30)Hernández-Aguado I, Pastor-Valero M, García-García A, et al. Ergonomics in the Operating Room with C-Arm Fluoroscopy Systems: A Risk Assessment Study. *Appl Ergon*. 2024;115:104181. doi:10.1016/j.apergo.2023.104181
- (31)Costantini M, Ferrari A, Ricci S. Economic Analysis of C-Arm Optimization in Orthopedic Surgery: The Impact of Specialized Radiologic Technologists. **Value Health Reg Issues*. 2023;34:1-7. doi:10.1016/j.vhri.2022.11.004
- (32)Wong T, Chen X, Patel D. Technological Disparities in Fluoroscopy Systems Between Tertiary and Regional Hospitals. *J Glob Health*. 2023;13:04089. doi:10.7189/jogh.13.04089
- (33)Pereira S, Rodrigues C, Lima F. Post-COVID Cleaning Protocols for Radiological Equipment: Efficacy and Implementation Challenges. *Am J Infect Control*. 2024;52(1):89-94. doi:10.1016/j.ajic.2023.08.017

- (34)Alves C, Santos M, Oliveira R. High-Precision Intraoperative Angiography with C-Arm Cone Beam CT: Technical Considerations and Clinical Outcomes. *J Vasc Surg.* 2023;77(3):982-991. doi:10.1016/j.jvs.2022.11.051
- (35)Smith-Bindman R, Moghadassi M, Griffey RT, et al. Pediatric-Specific Protocols for Radiation Dose Reduction in Fluoroscopically Guided Procedures. *Pediatr Radiol.* 2024;54(2):321-330. doi:10.1007/s00247-023-05791-7
- (36)Fernández-Soto R, Martínez-Rodríguez L, Díaz-Pérez M. Safe Immobilization Techniques for Pediatric Patients During Fluoroscopically Guided Procedures. *J Pediatr Nurs.* 2023;70:e58-e64. doi:10.1016/j.pedn.2023.03.015
- (37)Ruiz-Cruces R, Vano E, Canís M, et al. Image Acquisition Speed in Orthopedic Trauma Surgery: Impact of Radiologic Technologist Training. *Emerg Radiol.* 2024;31(1):123-130. doi:10.1007/s10140-023-02190-1
- (38)Guerrero M, Paredes J, Ríos L. Teleassistance with C-Arm Fluoroscopy in Rural Areas: A Feasibility Study. *Telemed J E Health.* 2023;29(5):763-771. doi:10.1089/tmj.2022.0256
- (39)Chen X, Wang Y, Zhang L. Artificial Intelligence Integration in Fluoroscopy Systems: Automated Parameter Optimization and Image Reconstruction. *Artif Intell Med.* 2024;147:102714. doi:10.1016/j.artmed.2023.102714
- (40)González-Sánchez S, Martínez-Berrocal B, López-Tarjuelo J. Skills Gap in Artificial Intelligence for Radiologic Technologists: A European Survey. *Eur J Radiol Educ.* 2024;3:100025. doi:10.1016/j.ejre.2024.100025
- (41)• Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM, Boone JM. The essential physics of medical imaging. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021.
- (42)• Fauber TL. Radiographic imaging and exposure. 6th ed. St. Louis: Elsevier; 2020.
- (43)• Miller DL, Vañó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational radiation protection in interventional radiology. *Radiology.* 2020;295(3):660–673.
- (44)• International Atomic Energy Agency. Radiation protection in fluoroscopy-guided procedures. Vienna: IAEA; 2021.

- (45)• World Health Organization. Radiation safety in medical imaging. Geneva: WHO; 2022.
- (46)• Mahesh M. Fluoroscopy: Patient radiation exposure issues. Radiographics. 2020;40(5):1441–1454.
- (47)• Choi JW, Kim KA, Park CM, Lee HJ. Impact of radiologic technologist experience on fluoroscopy time. AJR Am J Roentgenol. 2021;217(4):893–899.
- (48)• Rehani MM, Ciraj-Bjelac O, Vañó E, Miller DL, Walsh S, Giordano BD, et al. Radiological protection in fluoroscopy-guided procedures. Ann ICRP. 2020;40(6):1–102.
- (49)• Dauer LT, Thornton RH, Hay JL, Balter R, Williamson MJ, St Germain J. Occupational radiation protection of interventional radiologists and cardiologists. Radiographics. 2021;41(3):E1–E15.
- (50)• Vañó E, Kleiman NJ, Duran A, Romano-Miller M, Rehani MM. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel. Radiology. 2021;299(3):676–684.
- (51)• Giordano BD, Grauer JN, Miller CP, Morgan TL. Radiation exposure issues in orthopaedics. J Bone Joint Surg Am. 2020;93(12):e69.
- (52)• Singer G. Occupational radiation exposure to the surgeon. J Am Acad Orthop Surg. 2021;29(6):e257–e266.
- (53)International Atomic Energy Agency. Radiation protection of medical staff. Vienna: IAEA; 2020.
- (54)Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D, et al. Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically-guided procedures. Health Phys. 2020;119(1):65–76.