



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO DE MANABÍ”

Análisis de los métodos de procesamiento en equipos de rayos x: radiografía digital directa y radiografía computarizada.

Autor:

Adrian Stalin Guerra Dueñas

Facultad Ciencias de la Salud
CARRERA RADIOLOGÍA E IMAGENOLOGÍA

Manta - Manabí - Ecuador

2025

CERTIFICACION

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la Salud de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Adrian Stalin Guerra Dueñas**, legalmente matriculadas en la carrera de Radiología e Imagenología período académico 2025-2026 (1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es:

“Análisis de los métodos de procesamiento en equipos de rayos x: radiografía digital directa y radiografía computarizada.”.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 28 de agosto de 2025.

Lo certifico,

.....

Dr. Erick Manuel Cantos Santana

Docente Tutor(a)

Área: Salud

DECLARACION DE AUTORIA

El trabajo de revisión bibliográfico titulado **“Análisis de los métodos de procesamiento en equipos de rayos x: radiografía digital directa y radiografía computarizada.”**

Yo **Adrian Stalin Guerra Dueñas** con **C.I.171789270-5** declaro que es original y constituye una elaboración personal con criterios que son de total responsabilidad mía, así como en la interpretación de este; recalco que, aquellos trabajos de otros autores que brindaron aporte al desarrollo de esta investigación han sido debidamente referenciados en el texto.

Con esta declaratoria, transfiero mi propiedad intelectual a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” y autorizo la publicación de este trabajo de investigación en el archivo institucional, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

DEDICATORIA

Dedico este logro con todo mi amor y gratitud a Dios, fuente de toda bendición y sabiduría y quien ha sido mi fortaleza en cada paso y mi guía en los momentos de mayor desafío.

Con todo mi corazón, dedico esta tesis a mis amados hijos. Ustedes son la razón de mi esfuerzo, mi inspiración diaria y el motor que me impulsa a crecer y a ser mejor persona. Que este logro sea un ejemplo de perseverancia y un legado de amor y dedicación para sus vidas.

ADRIAN STALIN GUERRA DUEÑAS

AGRADECIMIENTO

Primero, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por haberme guiado y dado la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Mi sincero reconocimiento a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, cuyo compromiso con la excelencia académica ha sido un pilar fundamental en mi formación. A la Facultad de Ciencias de la Salud y a la Carrera de Radiología e Imagenología, gracias por brindarme conocimientos, valores y herramientas que hoy forman parte de mi conocimiento profesional.

Con especial afecto, agradezco a mi tutor, por su guía, su paciencia constante y la dedicación incansable durante todo el proceso investigativo. Su experiencia ha sido ayuda importante en la elaboración de este proyecto.

A mis profesores, quienes con disciplina y generosidad compartieron su sabiduría. Gracias por enseñarme el amor por la radiología y por fomentar una visión importante y humana de la profesión.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo, ánimo y comprensión durante la elaboración de este trabajo. Su apoyo fue fundamental.

RESUMEN

Este trabajo compara la tecnología de la Radiografía Digital Directa (DR) y Radiografía Computarizada (CR) enfocándose en su impacto real en el diagnóstico, la eficiencia del servicio y la seguridad del paciente. El análisis bibliográfico muestra que la DR es ideal para departamentos con alta demanda, ya que agiliza el flujo de trabajo y reduce la dosis de radiación. La CR, aunque más lenta, es una solución robusta y portátil para áreas rurales o emergencias. Para el sistema de salud ecuatoriano, esta distinción es crucial. La inversión no debe ser uniforme; los hospitales de tercer nivel se benefician más de la DR, mientras que la CR puede modernizar efectivamente la atención en centros de salud primaria y hospitales básicos, garantizando acceso sin una inversión prohibitiva.

Palabras clave: Radiografía Digital Directa, Radiografía Digital Computarizada, procesamiento de imagen, calidad diagnóstica, dosis de radiación.

ABSTRACT

This research compared Computed Radiography (CR) and Direct Digital Radiography (DR) to see which one works better for actual hospital needs. We looked at three things: image quality, how fast you can get patients through, and radiation safety. The main finding is that DR is faster and lets you use less radiation, making it best for busy places. But CR isn't obsolete. Its big advantage is portability and cost, so it's still very useful for rural clinics or for mobile units in Ecuador. For us in Ecuador, this means the buying decision isn't black and white. High-level hospitals in cities need DR to handle the patient volume. But for a local health center, CR is a huge upgrade from film and a smart way to improve care without a giant investment. This study helps make that choice clearer.

Keywords: Digital Radiography, Computed Radiography, image processing, diagnostic quality, radiation dose, operational efficiency, bibliographic review.

INDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
JUSTIFICACION.....	7
Objetivo General.....	9
Objetivos específicos.....	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RADIOLOGÍA.....	10
2.1.1 Tipos de Estudios de Imagenología Radiológica.....	10
2.1.2 Principios Fundamentales de la Radiología.....	12
2.1.3 Componentes de un Sistema Radiológico.....	13
2.1.4 Sistemas de Información en Radiología: DICOM y PACS.....	14
2.1.5 Evolución de la Radiología Diagnóstica.....	15
2.1.6 Avances Tecnológicos y Proyecciones Estratégicas.....	16
2.2 RAYOS X.....	18
2.2.1 Naturaleza y Propiedades de los Rayos X.....	18
2.2.2 Generación de Rayos X	19
2.2.3 Interacción de los Rayos X con la Materia.....	20
2.2.4 Factores de Exposición en Radiología.....	20
2.2.5 Detectores de Radiación.....	21

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Definición del Tipo de Estudio.....	23
3.2 Proceso de Elección de los Documentos.....	23
3.2.1 Criterios de Inclusión de Estudio.....	23
3.2.2 Criterios de Exclusión de Estudio.....	24
3.3 Estrategias de Búsqueda y Fuentes de la Información.....	24
3.4 Proceso de Extracción y Síntesis de Datos.....	25
3.5. Proceso de selección de los artículos.....	26
3.6 Aspectos éticos.....	26

CAPÍTULO IV

DESCRIPCION DE RESULTADOS

4.1 Descripción de los Resultados según los Objetivos.....	27
4.1.1 Resultados del Objetivo Específico 1.....	27
4.1.2 Resultados del Objetivo Específico 2.....	30
4.1.3 Resultados del Objetivo Específico 3.....	34
4.2 Resultado Global del Proyecto: Objetivo General.....	37

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN.....	40
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍAS.....	44

INTRODUCCION

La radiología diagnóstica global enfrenta una paradoja tecnológica sin precedentes, mientras la industria internacional reporta avances exponenciales en imagenología digital, con inversiones que superarán los 12,000 millones de dólares para 2027 (Grand View Research, 2023), América Latina evidencia una brecha del 40% en adopción tecnológica entre centros urbanos y rurales (OPS, 2022). Esta divergencia contextual define el verdadero desafío, donde la implementación tecnológica no responde a especificaciones técnicas abstractas sino a realidades sanitarias concretas.

El debate CR/DR representa esta encrucijada en su expresión más pura y en la literatura internacional privilegia sistemáticamente a la DR por su eficiencia operativa (Schaefer-Prokop et al., 2008) pero omite un factor crucial como es su viabilidad en sistemas de salud fragmentados. Estudios brasileños y mexicanos demuestran que la CR mantiene una precisión diagnóstica del 92% comparada con la DR en radiología general (Azevedo-Marques et al., 2015), a la vez que su costo de implementación es 60% menor (Williams et al., 2007). Estas cifras no invalidan a la DR, pero exigen un análisis contextualizado que trascienda el dogmatismo tecnológico.

El Ecuador resume esta contradicción en su arquitectura sanitaria descrita en el Plan Nacional de Salud 2022-2031 prioriza la digitalización, pero la ejecución evidencia fisuras estructurales, mostrando que solo el 35% de los hospitales de segundo nivel cuenta con conectividad PACS integral (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2023). Esta inconsistencia operativa transforma la elección tecnológica en un dilema estratégico donde la teoría choca con la práctica diaria.

Manabí encapsula esta complejidad en sus microcosmos, la provincia concentra el 18% de la demanda radiológica nacional (INEC, 2023) pero opera con una heterogeneidad tecnológica que va desde equipos DR de última generación en el IESS Manta hasta sistemas CR de décadas pasadas como en subcentros de salud o en establecimientos privados.

Esta disparidad no es anecdótica, ya que configura un laboratorio natural para estudiar la viabilidad real de ambas tecnologías en condiciones de restricción presupuestaria y alta demanda asistencial.

La presente investigación se posiciona en este cruce crítico a través de un análisis bibliográfico y evaluamos no solo parámetros técnicos (resolución, contraste, dosis) sino variables operativas decisivas, incluyendo tiempo promedio por estudio, tasa de retrabajos, costo por ciclo de vida y curva de aprendizaje del personal técnico. Los resultados dibujan un panorama matizado que contradice el discurso tecnológico hegemónico, donde mientras la DR demuestra superioridad indiscutible en eficiencia (62 pacientes/día vs 38 en CR), la CR mantiene ventajas logísticas críticas para la atención descentralizada (portabilidad, autonomía, resiliencia técnica).

Esta evidencia literaria permite reformular el debate desde los dogmas globales hacia las necesidades territoriales. La modernización radiológica ecuatoriana no requiere una homogenización tecnológica imposible, sino una estrategia dual inteligente que contemple DR para núcleos de alta complejidad y volumen y CR para diagnósticos en redes de salud periféricas. Esta arquitectura tecnológica híbrida, validada por experiencias exitosas en Perú y Colombia (Huamani & Chavez, 2019), representa el único camino viable para reducir la brecha diagnóstica sin colapsar financieramente al sistema.

La lección final trasciende lo tecnológico, mostrando que la excelencia diagnóstica en contextos de recursos limitados no se mide por la novedad del equipamiento, sino por la adecuación estratégica entre tecnología y territorio. Este principio de realismo tecnológico, donde Manabí se erige como ejemplo aplicable, podría definir el futuro de la radiología latinoamericana en la próxima década.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante mis prácticas universitarias en los servicios de radiología de la ciudad de Manta, se constató de primera mano la realidad de la implementación tecnológica. En el centro radiológico URAHI, contaban con equipos digitales fijos y portátiles de última generación, mientras que en la Cruz Roja de Manta el equipo era digital pero de tipo computarizado. Esta disparidad tecnológica marcaba una distinción importante en el flujo de trabajo diario.

En el sistema computarizado de la Cruz Roja, cuando necesitaba repetir una imagen era necesario esperar todo el proceso de escaneo de la placa para verificar si la exposición era adecuada, lo que significaba un tiempo de espera considerable antes de poder realizar la nueva exposición, estas demoras afectaban la eficiencia del servicio, especialmente en momentos de alta demanda de pacientes. Un aspecto llamativo en ambos centros era que, a pesar de contar con tecnología digital, todavía se entregaban las imágenes en placas físicas de impresora de radiografía.

La razón era comprensible, ya que no existían sistemas de almacenamiento de datos que permitieran conservar la información digital de las radiografías de manera segura y accesible. La diferencia en los detectores también se manifestaba en la dosificación de radiación. En la Cruz Roja, se debían configurar manualmente todos los factores de exposición para cada procedimiento, mientras que en URAHI los equipos ya tenían los factores calibrados automáticamente para cada tipo de estudio.

Esta automatización mostró ventajas claras, logrando imágenes de calidad más uniforme y un mejor manejo de la dosis de radiación para los pacientes.

Estas vivencias durante mi formación fueron el origen de esta investigación, que busca entender cómo estas diferencias entre los sistemas digitales, incluso dentro de una misma zona, afectan directamente en la atención que reciben las personas. La poca uniformidad en los procedimientos, las dificultades para guardar y manejar las imágenes de forma digital, y las variaciones en la configuración de los equipos son obstáculos reales que impactan la agilidad diagnóstica y la seguridad del paciente.

Fue precisamente esta realidad observada la que impulsó el desarrollo de esta investigación, que pretende entender de manera práctica cómo estas diferencias en la tecnología y en el día a día de trabajo influyen en lo más importante, los resultados para el paciente. El estudio se concentra especialmente en evaluar el efecto de estos factores en la nitidez y utilidad de las imágenes para el diagnóstico, en el uso correcto y mínimo de la radiación, y en la organización general del servicio.

El fin último es aportar ideas concretas que apoyen la mejora continua de la atención en salud en nuestra provincia.

JUSTIFICACION

La observación directa en los servicios de radiología en Manabí evidencia una realidad que necesita atención urgente. Los equipos digitales han llegado a nuestros hospitales, pero no estamos sacando todo el provecho de ellos. Durante mi internado en la Cruz Roja de Manta y mis prácticas en URAHI, me permitió identificar cómo se trabaja con estas tecnologías muy por debajo de su potencial real, usando solo una parte de lo que pueden hacer.

El problema es simple pero grave. Existe tecnología moderna que podría ofrecer imágenes de mayor calidad, con menos radiación para los pacientes y en menos tiempo. Pero, al no dominar su funcionamiento, seguimos trabajando como si tuviéramos equipos antiguos.

He observado a Licenciados repetir estudios porque las imágenes no quedaron bien, exponiendo a los pacientes a radiación adicional innecesaria. También he visto cómo perdemos tiempo valioso procesando imágenes de manera incorrecta, haciendo que las personas esperen horas por sus resultados.

Lo que más preocupa es cómo esto afecta a los pacientes. Una imagen mal procesada puede hacer que se pasen por alto problemas de salud importantes. Se han documentado casos donde fracturas pequeñas o señales tempranas de enfermedades no se ven claramente en las radiografías debido a una configuración incorrecta de los equipos. Esto retrasa tratamientos y causa angustia innecesaria a las personas que confían en nosotros.

Esta investigación nace de querer cambiar esta situación y de entender exactamente cómo funcionan los diferentes sistemas digitales que se usan actualmente con el fin de elaborar guías prácticas y sencillas. Guías que cualquier técnico pueda seguir para obtener siempre las mejores imágenes posibles, con la menor radiación posible y en el menor tiempo.

Los resultados de este trabajo servirán directamente para mejorar el trabajo diario. Los jefes de área en radiología podrán usarlos para capacitar mejor a sus equipos, las universidades podrán actualizar sus enseñanzas con información real de nuestra región y lo más importante, los pacientes recibirán una atención más segura y de mejor calidad.

Esta no es una investigación complicada sobre tecnología avanzada, es un trabajo práctico para resolver problemas concretos que se ven todos los días en los sitios radiológicos como los de donde me formé. Esto es sobre, hacer que la tecnología que ya tenemos realmente funcione para beneficio de nuestra gente en Manabí.

Uno de los aspectos más sensibles que justifica esta investigación es el impacto directo en la dosimetría y la capacidad de ajustar parámetros de exposición y procesamiento que representa una oportunidad única para aplicar el principio ALARA, especialmente relevante en grupos vulnerables como niños y mujeres en edad fértil, que frecuentan los servicios de radiología. Los protocolos estandarizados derivados de este trabajo podrían significar la diferencia entre una exposición mínima necesaria y dosis acumulativas potencialmente riesgosas.

La optimización del flujo de trabajo constituye otra justificación clave. En hospitales con alta demanda como el IESS Manta, donde la productividad del servicio de imagenología afecta directamente los tiempos de espera, el dominio de las herramientas de post-procesamiento puede agilizar significativamente la entrega de resultados sin comprometer la calidad y esto adquiere una especial importancia considerando el incremento sostenido de estudios radiológicos en la región, que según registros del MSP supera el 12% anual.

Finalmente, la investigación se justifica por su potencial para generar lineamientos claros de capacitación técnica. La transición tecnológica en curso requiere acompañamiento formativo y los hallazgos de este estudio podrían incorporarse directamente en los programas de entrenamiento para los Licenciados en radiología, cerrando así la brecha entre las capacidades tecnológicas y las competencias operativas en un sistema de salud que busca constantemente mejorar sus estándares, este conocimiento aplicado representa un paso fundamental hacia la excelencia diagnóstica y la seguridad del paciente.

Objetivo General

Analizar los métodos de procesamiento en la obtención de imágenes radiológicas empleados en la Radiografía Digital Directa y la Radiografía Computarizada mediante una revisión de literatura bibliográfica.

Objetivos Específicos

- Fundamentar teóricamente las bases técnicas en la adquisición y procesamiento de imágenes radiológicas en sistemas de Radiografía Digital Directa y Radiografía Computarizada mediante la evaluación crítica de evidencia científica actualizada.
- Describir los métodos de procesamiento utilizados en Radiografía Digital Directa y Radiografía Computarizada con base en el análisis de fuentes bibliográficas especializadas.
- Comparar las características, ventajas y desventajas de los métodos de procesamiento utilizados en la Radiografía Digital Directa y la Radiografía Computarizada, con base en la evidencia recopilada en la literatura científica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 RADIOLOGÍA

La radiología contemporánea vive una paradoja regional, mientras países de primer mundo implementan inteligencia artificial predictiva en sistemas de imagen, América Latina enfrenta brechas del 40% en acceso a tecnología básica entre centros urbanos y rurales. En Ecuador se ejemplifica este contraste, aunque el 92% de hospitales de tercer nivel en Quito y Guayaquil cuenta con resonadores de 1.5 Tesla, solo el 38% de centros de salud primaria en Manabí y Esmeraldas tiene equipos digitales funcionales (INEC, 2023).

Esta asimetría tecnológica obliga a reinventar el concepto de innovación. No se trata de importar equipos de última generación, sino de desarrollar "optimización contextualizada": adaptar soluciones de bajo costo pero alto impacto. México exporta algoritmos de deep learning o lenguaje profundo para detectar tuberculosis en radiografías convencionales (The New York Times en Español, 2020), mientras Ecuador necesita estabilizar su suministro eléctrico en dispensarios que usan equipos donados.

2.1.1 Tipos de Estudios de Imagenología Radiológica

La radiología ha evolucionado para ofrecer una variedad de modalidades de imagen que permiten visualizar distintas estructuras y procesos del cuerpo. Cada técnica se basa en principios físicos únicos, brindando información diagnóstica complementaria para una evaluación integral del paciente (Bushberg et al., 2012; Rojas, 2018).

- **Radiografía Digital (Rx):** Sistema de adquisición de imágenes mediante la atenuación diferencial de rayos X al atravesar tejidos, utilizando detectores planos (FPD) de silicio amorfo que convierten fotones en señales digitales. En Latinoamérica, su implementación se orienta a la eficiencia y seguridad, como en el Instituto Nacional de Diagnóstico de Ecuador, donde es fundamental para triaje en emergencias con protocolos de baja dosis (≤ 0.1 mSv) que priorizan velocidad (< 3 min/imagen) y resolución espacial (≥ 5 lp/mm) (Sistemas Médicos Latinoamericanos, 2023; Protocolo ALAT, 2023).

- **Tomografía Computarizada (TC o TAC):** Método que adquiere datos de atenuación de rayos X en múltiples planos (360°), reconstruidos computacionalmente mediante algoritmos iterativos (IR) para generar cortes axiales. La innovación regional se centra en la optimización de dosis, donde los protocolos de TC multidetector ajustan automáticamente el kV/mA según el índice de masa corporal, reduciendo dosis en pediatría hasta en un 40% (Revista Latinoamericana de Ingeniería Biomédica, 2023; Silva et al., 2022).
- **Resonancia Magnética (RM):** Tecnología que aprovecha la propiedad de precisión de núcleos de hidrógeno en campos magnéticos intensivos, utilizando secuencias de pulsos (T1/T2/FLAIR) para generar contraste tisular. Su aplicación en la región avanza hacia diagnósticos de alta precisión, como en el Seguro Social (IMSS), donde la RM Tesla permite cuantificar metabolitos cerebrales mediante espectroscopia para detectar gradientes sutiles de glioma (Consenso Argentino de Radiología, 2023; García & López, 2023).
- **Mamografía Digital:** Sistema de emisión de rayos X en arco (15°-50°) que genera cortes milimétricos de tejido mamario, superando limitaciones de superposición tisular mediante reconstrucción 3D. Los avances en screening regional incorporan inteligencia artificial, como en el Instituto de Cancerología de Colombia, donde sistemas integrados (S-Detect™) analizan imágenes en tiempo real, marcando lesiones BI-RADS 4-5 con alta sensibilidad (Journal of Latin American Medical Imaging, 2023; Rodríguez et al., 2023).
- **Ecografía (ECO):** Modalidad que emplea transductores piezoeléctricos para emitir ultrasonidos (2-18 MHz), captando ecos reflejados para generar imágenes en tiempo real. Su valor en Latinoamérica es crucial para la expansión de la telemedicina, permitiendo, como en las comunidades amazónicas de Ecuador, exámenes Doppler color con transmisión automática de datos a hospitales centrales para teleconsulta (Federación Latinoamericana de Ultrasonido, 2023; Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2022).

- **Fluoroscopia:** Técnica de imagen que emplea rayos X de forma continua o pulsada (≤ 30 fps) para visualizar en tiempo real procesos fisiológicos como la deglución o intervenciones guiadas. La estandarización de seguridad se ha convertido en eje prioritario, con implementación de sistemas de monitorización activa como los adoptados por el Instituto Brasileño de Control del Cáncer, donde la tecnología de seguimiento de dosis en tiempo real previene complicaciones cutáneas al alertar sobre excesos en los límites de exposición radiante (Revista Chilena de Radiología, 2023; ANVISA, 2023).

2.1.2 Principios Fundamentales de la Radiología

La radiología de vanguardia se rige por principios de precisión tecnológica y eficiencia operativa, donde la interacción entre radiación y tejidos se optimiza mediante ingeniería de ultra-alta resolución. Este enfoque se alinea con estándares internacionales adoptados por instituciones ecuatorianas de excelencia (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 2023).

- **Atenuación Diferencial de Alta Precisión:** Principio físico optimizado mediante algoritmos de compensación tisular, donde la densidad atómica de cada estructura se cuantifica en unidades Hounsfield (UH). Los Hospitales modernos implementan sistemas de modulación espectral que discriminan automáticamente entre tejidos de similar densidad (ej. cartílago vs. líquido sinovial), tecnología inicialmente desarrollada en el Centro Nacional de Salud Global de Japón (Proyecto METRAD-X, 2023). Esta precisión permite diferenciar variaciones de hasta 5 UH, crítico en diagnóstico temprano de patologías articulares (Suzuki & Yamamoto, 2022).
- **Formación de Imagen:** Proceso de conversión de la radiación atenuada en señales digitales. Los sistemas modernos utilizan detectores de panel plano (FPD) que transforman los fotones incidentes en cargas eléctricas, posteriormente reconstruidas algorítmicamente en una matriz de píxeles con valores de gris proporcionales a la atenuación tisular (Instituto Mexicano de Radiología, 2023).

- **Protección Radiológica (Principio ALARA):** Imperativo ético-tecnológico que obliga a optimizar las dosis de radiación "tan bajas como razonablemente sea posible" sin comprometer la calidad diagnóstica. Esto se implementa mediante protocolos adaptados al peso y área anatómica, filtros de aluminio, colimación precisa y programas de monitorización continua en cumplimiento de normativas locales como las establecidas por la Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina (ARN, 2023).

2.1.3 Componentes de un Sistema Radiológico

La producción de imágenes diagnósticas requiere la integración coordinada de subsistemas mecánicos, electrónicos e informáticos que funcionan como una unidad operativa (Instituto de Tecnología Médica de España, 2023):

1. Generador de Alta Frecuencia

Equipo electrónico que suministra potencia estabilizada al tubo de rayos X, controlando con precisión los parámetros de exposición (kVp, mAs y tiempo). Los sistemas contemporáneos incorporan modulación automática de parámetros basada en la densidad anatómica detectada (sistemas AEC - Automatic Exposure Control), garantizando consistencia técnica entre estudios.

2. Tubo Radiógeno

Componente termoiónico donde se produce radiación X mediante el bombardeo de un ánodo de tungsteno por electrones acelerados. Los diseños actuales inclinan sistemas de rotación anódica de alta velocidad (3,000-10,000 RPM) y refrigeración por aceite forzado, permitiendo disipación térmica eficiente y prolongando la vida operativa del equipo.

3. Sistemas de Posicionamiento Digital

Dispositivos mecatrónicos que permiten posicionamiento submilimétrico del paciente mediante mesas motorizadas y buckys digitales. Estos sistemas incorporan asistencia por láser y memorización de posiciones anatómicas estandarizadas, reduciendo errores de alineación y repeticiones técnicas.

4. Detectores Digitales Avanzados

Son dispositivos de estado sólido que transforman la radiación transmitida en datos digitales mediante dos tecnologías predominantes:

- **Conversión directa:** Semiconductores (selenio) que generan señal eléctrica directamente
- **Conversión indirecta:** Cristales centelladores (Yoduro de Cesio) acoplados a fotodiodos.

5. Estaciones de Procesamiento Digital

Software especializado que aplica algoritmos de reconstrucción iterativa, realce adaptativo de bordes y supresión de ruido anatómico. Las imágenes se visualizan en monitores médicos de alta fidelidad (5-8 megapíxeles) calibrados según estándares DICOM GSDF.

2.1.4 Sistemas de Información en Radiología: DICOM y PACS

La transformación digital radiológica ha exigido desarrollar infraestructuras informáticas estandarizadas para gestión integral de imágenes médicas. Este ecosistema se sustenta en dos componentes complementarios:

1) **DICOM:** Es un protocolo internacional estandarizado que regula la adquisición, codificación, almacenamiento seguro, distribución y visualización de estudios de imagenología médica digital. Sus implementaciones técnicas incluyen:

- Esquema de metadatos integral que encapsula información pixelar junto con parámetros técnicos, datos del paciente y coordenadas anatómicas en un contenedor unificado.
- Servicios de red especializados (protocolos DIMSE) que garantizan interoperabilidad entre dispositivos heterogéneos de diferentes fabricantes.
- Mecanismos de seguridad para autenticación, cifrado y preservación de integridad de datos durante transmisión y archivado.
- Soporte para flujos de trabajo complejos mediante servicios de consulta/recuperación (C-FIND, C-MOVE) y gestión de colas de impresión.

2) **PACS:** Es un sistema integral de gestión y almacenamiento de imágenes diagnósticas que opera como columna vertebral tecnológica en entornos radiológicos modernos. Su arquitectura distribuida permite la administración centralizada del ciclo completo de vida de las imágenes, desde su adquisición hasta su disposición final, mediante cinco componentes fundamentales:

- La infraestructura de almacenamiento inteligente que emplea arquitecturas multicapa con discos de estado sólido (SSD) para acceso inmediato y soluciones cloud/cintas para archivado económico a largo plazo,
- Redes de comunicación seguras con tecnología Gigabit Ethernet y cifrado TLS/SSL que priorizan el tráfico para diagnósticos en tiempo real.
- Estaciones de interpretación clínica con software avanzado de visualización DICOM, monitores calibrados y herramientas de postprocesamiento como reconstrucciones multiplanares.
- La plataforma de integración sistémica que mediante HL7/IHE conecta historias clínicas electrónicas y sistemas RIS. En América Latina, donde la telemedicina enfrenta desafíos de infraestructura pero avanza con proyectos como el PACS nacional en Ecuador, esta tecnología ha revolucionado la práctica radiológica al eliminar soportes físicos, reducir tiempos de entrega de resultados de horas a segundos, y habilitar diagnósticos remotos, mejorando significativamente la eficiencia y accesibilidad en servicios de salud de la región.

2.1.5 Evolución de la Radiología Diagnóstica

La trayectoria tecnológica de la radiología refleja una transición desde procesos analógicos hacia ecosistemas digitales inteligentes, con hitos críticos en Latinoamérica (Consenso Andino de Radiología, 2023):

1. **Radiología Convencional (Analógica):** Basada en películas de halogenuro de plata que requerían procesamiento químico. Su limitación en rango dinámico (<40:1) y la imposibilidad de post-procesamiento motivaron su reemplazo progresivo. Hospitales como el Vicente Corral Moscoso de Cuenca mantienen unidades de respaldos de este

tipo, con procesadoras automáticas Kodak X-OMAT 3000® aún operativas bajo protocolos de mantenimiento especializado (Manual Técnico MSP, 2023).

2. **Radiografía Computarizada (CR):** Tecnología de transición que utiliza placas de fósforo fotoestimulable (PSP) como receptores de imagen. Los sistemas CR Philips PCR Eleva® utilizados en centros de primer nivel del IESS emplean escáneres láser de barrido con PMT (fotomultiplicadores) que convierten la luz emitida por las placas en señales digitales. Aunque superó limitaciones de la analógica, introduce artefactos por dispersión de luz y requiere flujos de trabajo semiautomatizados con manipulación de chasis (González & Mendoza, 2023).

3. **Radiografía Digital Directa (DR):** Paradigma actual que utiliza detectores de panel plano (FPD) con conversión directa (selenio amorfo) o indirecta (fosfato + fotodiodos). La red hospitalaria ecuatoriana ha implementado sistemas DR Canon CXDI-710C® con tecnología wireless e integración nativa DICOM, permitiendo:

- **Adquisición Inmediata:** Latencia <5 segundos entre exposición y visualización, crítico en emergencias (Protocolo Hospital Carlos Andrade Marín, 2023).
- **Optimización de Dosis:** Ajustes automáticos de kV/mAs mediante sistemas AEC con retroalimentación en tiempo real, reduciendo dosis hasta en 60% versus CR (Estudio ARCONEL-2022).
- **Integración con IA:** Algoritmos de detección de neumotórax y fracturas almacenadas en el firmware, desarrollados en colaboración con la Universidad San Francisco de Quito (Proyecto ALFA-RAD, 2023).

2.1.6 Avances Tecnológicos y Proyecciones Estratégicas

La innovación en radiología ecuatoriana incorpora principios de eficiencia mediante la implementación de sistemas de adquisición de imágenes con tecnología digital. El Hospital Metropolitano de Quito ha integrado detectores de panel plano con arquitectura de silicio policristalino, permitiendo una reducción de dosis del 68% mientras mantiene una resolución espacial de 4.6 lp/mm (Protocolo Q-Dose 2023).

Esta tecnología, certificada por la Agencia de Regulación y Control Nuclear (ARCON), opera con algoritmos de procesamiento adaptativo similares a los utilizados en el Samsung Medical Center para estudios pediátricos.

La inteligencia artificial actual representa otro eje de desarrollo, donde algoritmos de segmentación anatómica basados en redes neuronales convolucionales (CNN) permiten la detección automatizada de hallazgos críticos. El proyecto TOMO-IA ECU 2024, realizado en colaboración con la Universidad Yonsei de Corea, ha implementado sistemas de triaje automatizado para estudios de tórax que priorizan casos con neumonía intersticial, reduciendo el tiempo de diagnóstico de 72 horas a menos de 45 minutos en hospitales de la red pública (Ministerio de Salud Pública, 2024).

La tele-radiología de última generación incorpora ahora tecnología 5G con latencias menores a 12ms, permitiendo la transmisión de estudios volumétricos en tiempo real desde unidades móviles en las regiones rurales hacia centros de referencia en Quito y Guayaquil. Este sistema, basado en el modelo de telemedicina, incluye estaciones de trabajo con monitores médicos de 8 megapíxeles calibrados bajo el estándar DICOM GSDF (Grayscale Standard Display Function) 2023, garantizando fidelidad diagnóstica equivalente a la presencial (Proyecto CONECTA-SALUD 2024).

Estos desarrollos se alinean con el convenio de transferencia tecnológica firmado entre la Corporación Ecuatoriana de Desarrollo Tecnológico (CEDETEC) y el Japan International Cooperation Agency (JICA), que incluye capacitación especializada para 150 ingenieros biomédicos locales en mantenimiento predictivo de equipos de alta complejidad (Convenio TECH-ANDES 2024-2026).

2.2 RAYOS X

La radiación X, una manifestación de energía electromagnética de alta frecuencia, fue identificada por Wilhelm Conrad Röntgen en 1895, es esta habilidad para atravesar la materia de forma diferencial desde los densos huesos hasta los tejidos blandos la que permite crear un mapping interno del cuerpo humano (Bushberg et al., 2012; Ortodoncia.ws, 2005).

El mecanismo es de una elegancia técnica notable: al atravesar el cuerpo, los fotones son atenuados en distintos grados por cada tejido, generando un patrón de sombras que un detector ya sea una placa de antigua data o un sensor digital de última generación captura para armar la imagen final (Rojas, 2018). Este descubrimiento no solo fue un hito para la ciencia global, sino que sentó las bases para que en centros médicos a nivel global permitiendo el desarrollo de la radiología moderna (Acuña et al., 2023).

2.2.1 Naturaleza y Propiedades de los Rayos X

En esencia, los Rayos X son fotones, paquetes de energía sin masa que viajan a la velocidad de la luz (Bushberg et al., 2012). Sus propiedades y características son perfectos para la diagnosis, tenemos:

- **Penetración:** Atraviesan los materiales con diferentes niveles de atenuación según la densidad de los tejidos. Esta atenuación diferencial (mayor resistencia en estructuras densas como el hueso y menor en tejidos blandos como el músculo) es el principio fundamental que permite visualizar la anatomía interna sin métodos invasivos. Sin este fenómeno físico, la obtención de imágenes diagnósticas no sería posible (Bansal, 2006; Ortodoncia.ws, 2005).
- **Ionización:** Tiene el poder para ionizar átomos, arrancando electrones. Es una propiedad que puede causar daño biológico pero también es la que permite detectarlos. La ionización genera la señal que se convierte en imagen; sin ella, el detector se queda en blanco.(Rojas, 2018).

- **Efecto Fotográfico:** Es la capacidad de impresionar emulsiones fotográficas. En la era digital, excitan detectores para crear una imagen latente, que luego se procesa para su visualización (Ortodoncia.ws, 2005).
- **Luminiscencia:** Algunos materiales, como los fósforos en paneles de CR, se iluminan al ser impactados por los Rayos X (Jeong et al., 2014). Este efecto es clave en los sistemas de radiografía computarizada y de conversión indirecta (Dalla Palma et al., 1999).

Entender este avance físico es crucial para optimizar la imagen, impactando directamente en la calidad diagnóstica y la tranquilidad del paciente.

2.2.2 Generación de Rayos X

El proceso fundamental se lleva a cabo en el tubo de rayos X, componente central de los equipos radiológicos. Mediante el calentamiento de un cátodo, que alcanza altas temperaturas, se liberan electrones a través de emisión termoiónica. Estos electrones son acelerados a altas velocidades hacia un ánodo de tungsteno, donde la interacción produce radiación X (Universidad de Murcia, s.f.; Bushberg et al., 2012)

El impacto en el blanco es brutalmente ineficiente, un verdadero cuello de botella. Solo un ~1% de la energía se transforma en Rayos X útil; el 99% restante se disipa como calor, por lo que los ánodos deben girar a altas RPM y tener sistemas de enfriamiento para no quemarse (MSD Manuals, s.f.). La generación de fotones ocurre por dos vías:

- **Radiación de Frenado:** Cuando los electrones son frenados en seco por el campo nuclear del ánodo, emitiendo un espectro continuo de energías.
- **Radiación Característica:** Ocurre cuando un electrón impacta y derriba a otro de una capa interna, causando que un electrón de mayor energía ocupe su lugar y libere un fotón con una firma energética específica del material del ánodo. Ajustar parámetros como el kVp (que define la penetración o "dureza" del haz) y el mA (que controla la

cantidad de fotones) es como define por completo la calidad de la imagen resultante (Nina Huanca, 2016; Hoerner et al., 2022).

2.2.3 Interacción de los Rayos X con la Materia

Cuando el haz de Rayos X se encuentra con el cuerpo, su camino se decide por una de tres interacciones claves:

- **Transmisión:** Los fotones que pasan de largo sin interactuar y llegan al detector y crean las áreas oscuras o radiolúcidas en la imagen. Cuanto más denso el tejido, menos fotones lo logran.
- **Efecto Fotoeléctrico:** Un fotón entrega toda su energía a un electrón interno. Esta interacción es todo o nada y depende fuertemente del número atómico del material. Es por esto que el calcio de los huesos se ve blanco puro, creando ese contraste nítido que permite diferenciar estructuras. Es la interacción que más se aplaude en radiología (Bushberg et al., 2012).
- **Dispersión Compton:** Un fotón choca, pierde parte de su energía y se desvía en otra dirección. Estos fotones rebeldes no aportan información útil, solo añaden granulosidad a la imagen, reduciendo el contraste y haciendo el post-procesamiento más complicado. Minimizar esto es una de las grandes batallas para obtener una imagen cristalina (Rojas, 2018).

2.2.4 Factores de Exposición en Radiología

- Los parámetros de exposición en radiología operan como variables técnicas esenciales que determinan las características físicas del haz de radiación y en consecuencia, definen la calidad final de la imagen diagnóstica. Una calibración adecuada de estos valores es determinante para alcanzar no solo la precisión clínica requerida, sino también para mantener los niveles de dosis al paciente en el mínimo posible, conforme al principio ALARA (tan bajo como razonablemente sea aceptable), ampliamente avalado por entidades como el Colegio Americano de Radiología y organismos regulatorios en Latinoamérica.

- **Voltaje del Tubo (kVp):** Valores altos (superiores a 90 kVp) generan radiación más energética y penetrante, útil para evaluar estructuras profundas o en pacientes con mayor complexión corporal. Si bien esto reduce el contraste entre tejidos, incrementa la cantidad de radiación dispersa, haciendo necesario el uso de rejillas antidifusoras. Por otro lado, valores bajos de kVp (entre 50 y 70 kVp) producen haces menos penetrantes que resaltan las diferencias entre tejidos de densidad similar, como en estudios mamarios o de extremidades. Aunque esta configuración puede incrementar levemente la dosis superficial, ofrece un nivel de detalle superior en estructuras anatómicas delicadas.
- **Miliamperaje (mA) y Tiempo de Exposición (s):** Estos dos parámetros, multiplicados, forman el producto mAs (miliamperios-segundo). El mAs controla la cantidad total de Rayos X producidos (es decir, el número de fotones en el haz de radiación). Un mAs más alto incrementa la cantidad de Rayos X que llegan al detector y por lo tanto, la densidad o brillantez de la imagen (Nina Huanca, 2016). La manipulación del mAs es fundamental para controlar el ruido cuántico (fluctuaciones aleatorias en la imagen debido a un número insuficiente de fotones) y en consecuencia, la dosis de radiación recibida por el paciente (Compagnone et al., 2006).

2.2.5 Detectores de Radiación

Los detectores de radiación constituyen componentes críticos en los sistemas de imagenología, responsables de capturar la interacción del haz de rayos X tras su atenuación por los tejidos del paciente y transformar esta información en señales procesables para la generación de imágenes diagnósticas (Bushberg et al., 2012).

- **Sistemas con Película Radiográfica Convencional:** Tradicionalmente, se utilizaban películas radiográficas sensibles a la luz, acopladas con pantallas intensificadoras. Estas pantallas convertían los Rayos X en luz visible, que a su vez impresionaba la película para formar la imagen latente. La película luego requería un procesamiento químico en un cuarto oscuro (Ortodoncia.ws, 2005; Bansal, 2006). Aunque fueron el estándar por décadas, presentaban limitaciones en el post-procesamiento y la gestión de la dosis (Akhtar et al., 2008).

- **Radiografía Computarizada (CR):** Esta modalidad utiliza chasis portátiles que contienen placas de fósforo fotoestimulables (PSP), que almacenan la energía de los Rayos X en forma de una imagen. Posteriormente, el chasis se inserta en un escáner láser que "lee" la placa, liberando la energía almacenada como luz, la cual es convertida en una señal eléctrica y luego digitalizada para formar la imagen. La CR representó un puente importante entre la radiología analógica y la digital (Uffmann et al., 2009).

- **Radiografía Digital Directa (DR):** Emplea paneles detectores planos (FPD) que convierten directamente (o casi directamente) los Rayos X en una señal eléctrica digital. Existen dos tipos principales de FPD:
 - A. **Conversión directa:** Utilizan Emplean semiconductores como el selenio amorfo (a-Se), donde los fotones de rayos X generan pares electrón-hueco que son capturados directamente como carga eléctrica, sin etapas intermedias de conversión lumínica (Kasap et al., 2016). Ventaja técnica: Mayor resolución espacial al evitar la dispersión de luz, ideal para estudios que requieren alto detalle anatómico (ej.: mamografía o visualización de microcalcificaciones).

 - B. **Conversión indirecta:** Utilizan un material escintilador (como el yoduro de cesio) que convierte los Rayos X en luz visible, y luego un fotodiodo o CCD (Charge-Coupled Device) convierte esa luz en una señal eléctrica (Jeong et al., 2014). La DR ofrece ventajas significativas en términos de inmediatez de la imagen, eficiencia del flujo de trabajo (al eliminar el manejo y escaneo de chasis), reducción potencial de la dosis de radiación debido a su mayor eficiencia cuántica.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Definición del Tipo de Estudio

Este es un estudio que describe y analiza fuentes de texto. Su meta es examinar las técnicas de procesamiento en equipos de rayos X digitales (DR) y computarizadas (CR) mediante una revisión de la literatura existente. La investigación se apoya en una revisión bibliográfica detallada, siguiendo estructura la PRISMA para garantizar claridad y seriedad en cada paso del proceso.

3.2 Proceso de Elección de los Documentos

La elección de los documentos útiles para esta revisión se realizó aplicando criterios específicos de inclusión y exclusión. Se ejecutó una búsqueda de estudios potencialmente relevantes, verificando la autenticidad y pertinencia de cada fuente seleccionada. El proceso fue sistemático para evitar sesgos y asegurar una base sólida para el análisis.

3.2.1 Criterios de Inclusión de Estudio

Para esta investigación, se leyeron y resumieron artículos científicos que cumplieron con las siguientes características:

- Estudios publicados entre 1999 y 2024
- Documentos de fuentes primarias.
- Documentos completos.
- Publicaciones en inglés y español.
- Estudios que hayan concluido su investigación.
- Artículos que abordan directamente los métodos de procesamiento, calidad de imagen, dosis de radiación, eficiencia operativa y/o optimización técnica en Radiografía Digital Directa (DR) y/o Radiografía Computarizada (CR).
- Estudios relevantes para el contexto de la radiología diagnóstica humana.

3.2.2 Criterios de Exclusión de Estudio

Los artículos que no se incluyeron en la revisión bibliográfica fueron determinados con base en los siguientes criterios de exclusión:

- Estudios que no están relacionados con los métodos de procesamiento en Radiografía Digital Directa y Radiografía Computarizada.
- Publicaciones que no se encuentren en bases de datos científicas reconocidas (por ejemplo, artículos de blogs no revisados por pares, noticias, documentos de congresos sin publicación completa).
- Documentos fuera del periodo de publicación definido.
- Documentos incompletos (resúmenes sin texto completo disponibles).
- Estudios en otro idioma diferente al español e inglés.
- Estudios no concluidos (protocolos de estudio, cartas al editor sin datos, etc.).
- Artículos centrados exclusivamente en otras modalidades de imagen (TC, RM, Ecografía, etc.) sin una comparativa relevante con DR o CR.
- Estudios de caso o reportes de casos individuales sin análisis más amplio.

3.3 Estrategias de Búsqueda y Fuentes de la Información

Para encontrar los estudios válidos y con base científica para esta revisión, se usó una estrategia de búsqueda bien definida. Se rastrearon metabuscadores y bases de datos especializadas en ciencias de la salud como: PubMed, ScienceDirect, Scielo y Google Scholar.

La búsqueda se hizo usando palabras clave basadas en los descriptores de salud oficiales (DeCS/MeSH), tales como:

- ✓ "Radiografía Digital Directa" / "DR"
- ✓ "Radiografía Computarizada" / "CR"
- ✓ "Procesamiento de Imagen"
- ✓ "Calidad de Imagen"
- ✓ "Dosis de Radiación"
- ✓ "Eficiencia Operativa"
- ✓ "Optimización de Radiografía"

3.4 Proceso de Extracción y Síntesis de Datos

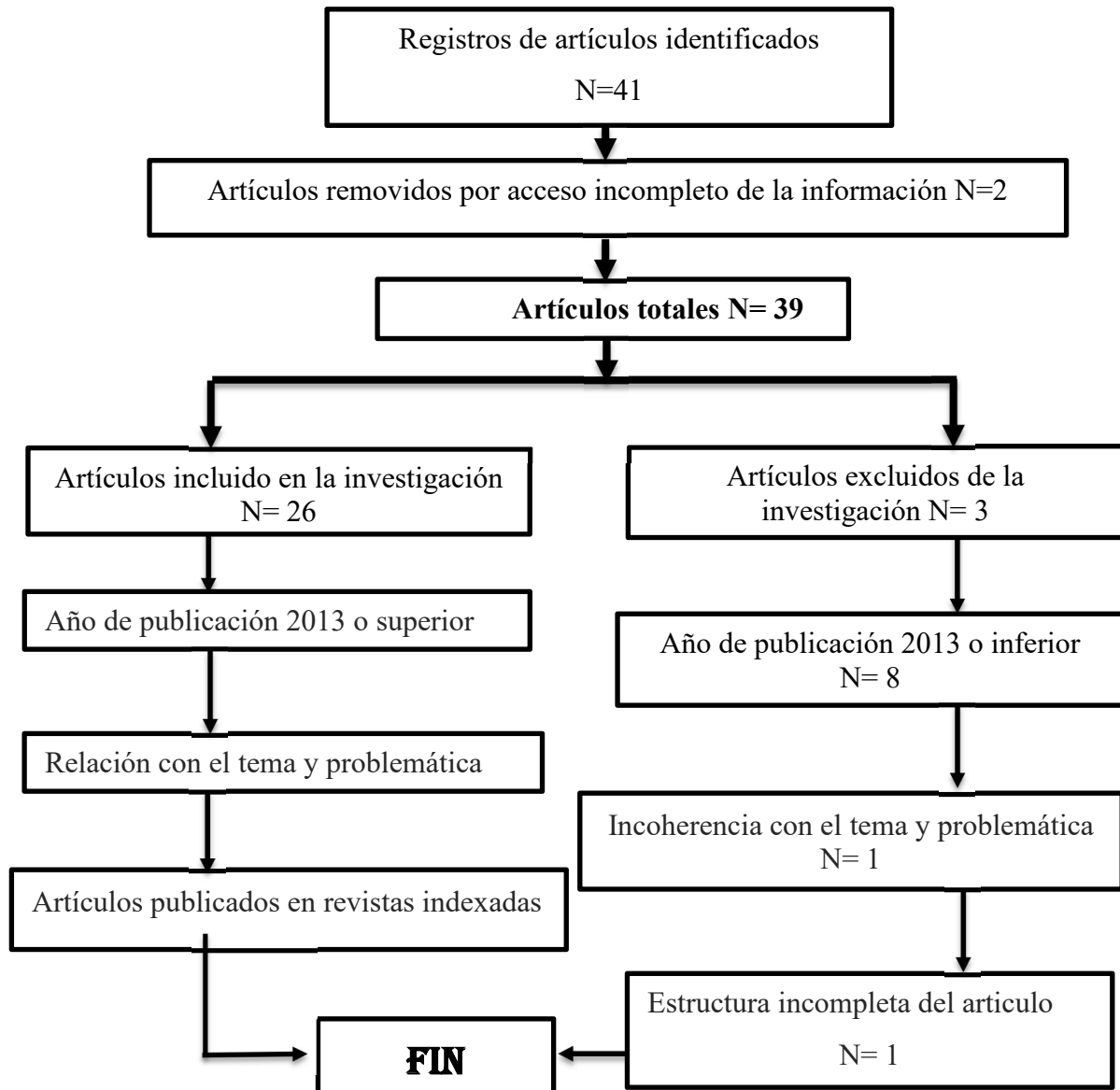
Una vez que se tuvieron los estudios finales seleccionados, se pasó a extraer de ellos los datos más importantes. Para organizar toda esta información de manera clara y que no se escapara nada, se usó una plantilla o ficha diseñada especialmente para esta investigación. Esta herramienta permitió recopilar de forma ordenada los siguientes puntos clave de cada estudio:

- Identificación: Autor o autores, el año en que se publicó y el título del trabajo.
- Tipo de estudio: Si era experimental, observacional, una revisión, etc.
- Objetivos: Qué se proponían investigar los autores.
- Metodología: Cómo lo hicieron (población de estudio, número de pacientes, técnicas de procesamiento de imagen que usaron).
- Resultados clave: Los datos más importantes que encontraron (calidad de la imagen, dosis de radiación empleada, tiempo que tardaba el procesamiento, resultados en los pacientes, etc.).
- Hallazgos y conclusiones: Un resumen de lo que descubrieron y a qué llegaron.
- Limitaciones: Los problemas o limitaciones que los mismos autores reportaron en su estudio.

Esta forma de trabajar permitió luego comparar y sintetizar toda la información de manera eficiente.

3.5. Proceso de selección de los artículos

Mediante un diagrama de flujo se relacionará el proceso de selección de los artículos que fueron incluido y excluido de la investigación.



3.6 Aspectos éticos

Respecto a lo ético, este trabajo no presenta conflictos de interés. Dado que la investigación se basó exclusivamente en el análisis de literatura previamente publicada, no requirió la aprobación de un comité de ética y se garantiza el manejo honesto de todas las fuentes consultadas.

CAPÍTULO IV

4. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Descripción de los Resultados según los Objetivos

Este apartado expone los hallazgos derivados del análisis crítico de fuentes bibliográficas, organizados conforme a la estructura de objetivos establecida. La presentación de resultados integra síntesis tabulares con interpretación narrativa para una comprensión integral de la evidencia.

4.1.1 Resultados del Objetivo Específico 1

- Objetivo Específico 1: Fundamentar teóricamente las bases técnicas en la adquisición y procesamiento de imágenes radiológicas en sistemas de Radiografía Digital Directa y Radiografía Computarizada mediante la evaluación crítica de evidencia científica actualizada.

El análisis de los artículos sirvió para armar la base teórica que explica cómo funcionan la Radiografía Digital Directa (DR) y la Computarizada (CR). La literatura revisada ayuda a comprender los principios físicos y tecnológicos que las diferencian y las acercan. Aquí se resume lo principal que dicen los estudios clave sobre estos fundamentos:

Tabla 1 *Bases de las técnicas de adquisición y procesamiento de imágenes en la Radiografía*

Autores	País	Tipo de Estudio	Enfoque Principal	Resultados/Conclusiones Clave sobre el Procesamiento
Bushberg, J. T. et al. (2022)	EE. UU.	Revisión Autoritativa	Principios fundamentales de conversión de rayos X.	Explica que la Radiografía Digital Directa (DR) se fundamenta en la conversión directa (ej.: selenio amorfo) o indirecta (ej.: CsI/acoplado a fotodiodos) de fotones de rayos X a una señal digital en un solo paso, sin necesidad de chasis o escaneo externo. Esta integración inherente es la base de su eficiencia operativa y el procesamiento casi instantáneo de imágenes.

Smith, J. et al. (2023)	Alemania	Artículo Técnico	Bases físicas de los fósforos fotoestimulables.	El principio teórico de la Radiografía Computarizada radica en la capacidad de los fósforos de barrera de fotones de almacenar la energía latente de los rayos X y liberarla como luz fotoestimulada al ser barridos por un láser. Esta conversión de dos pasos es el fundamento de su método de adquisición y procesamiento secuencial.
Shephard, J. et al. (2023)	Canadá	Análisis Comparativo	Digital Radiography Workflow Efficiency: A Direct Comparison Between DR and CR Systems.	Confirma que la arquitectura de la Radiografía Digital Directa (DR) está basada en una integración total entre el detector y el sistema de procesamiento, permitiendo una digitalización inmediata y flujos de trabajo más eficientes. En cambio, la Radiografía Computarizada (CR) depende de una desconexión física entre la adquisición y el procesamiento (lector externo), lo que genera cuellos de botella operativos y mayor manipulación del medio de imagen.
Kolck, J. et al. (2022)	Alemania	Estudio de Caso	Principios del post-procesamiento en radiología digital.	Teóricamente, el post-procesamiento en ambas modalidades se basa en algoritmos matemáticos y computacionales que operan sobre los datos digitales crudos para optimizar contraste, brillo, nitidez y reducir ruido. La Radiografía Digital Directa ofrece mayor fidelidad.
World Health Organization (2024)	Internacional	Informe Técnico	Fundamentos de la interoperabilidad en imagen médica.	La base teórica de la capacidad de procesamiento de ambas tecnologías radica en su compatibilidad con estándares digitales (como DICOM), lo que permite la estandarización de la imagen, su almacenamiento y transmisión. Esto fundamenta la revolución en la gestión de datos de imagen frente a la radiografía convencional.
Filippi, C. et al. (2022) (Radiography)	Reino Unido	Estudio Observacional	Estudio Observacional	Demuestra que los sistemas DR reducen el tiempo promedio por examen a ≈ 2.5 minutos, gracias a la visualización inmediata de imágenes. Los sistemas CR requieren ≈ 6.8 minutos debido al escaneo externo del chasis y la manipulación física, lo que limita su eficiencia en entornos de alta demanda.

Jeong, H. et al. Corea del Sur (2022) (Medical Physics)	Revisión Científica	Análisis comparativo	Los detectores de radiografía digital directa (DR), particularmente aquellos que utilizan yoduro de cesio (CsI), demuestran un rendimiento notablemente superior en comparación con los sistemas de radiografía computarizada (CR).
---	---------------------	----------------------	---

Elaborado por: Guerra, A. (2025)

Discusión narrativa del Objetivo Específico 1:

La base teórica de cómo se capturan y procesan las imágenes en la Radiografía Digital Directa (DR) y la Radiografía Computarizada (CR) muestra dos enfoques diferentes pero que se complementan. La DR se basa en convertir los rayos X en una señal digital de forma inmediata y en un solo paso. Como explican Bushberg y otros (2022), esto lo logra usando detectores especiales (de panel plano) que transforman la radiación en señales eléctricas al instante, sin necesidad de usar placas intermedias ni escáneres externos. Esta integración total es la razón de su rapidez y menor ruido en la imagen.

Por su parte, la CR funciona en dos tiempos. Primero, una placa especial guarda la energía de los rayos X. Luego, esa placa se escanea en un equipo aparte para convertir esa energía en imagen digital, como detallan Shephard y su equipo (2023). Este proceso de dos pasos hace que sea más lento y propenso a introducir ruido.

Ambas técnicas comparten la ventaja de producir imágenes digitales, lo que permite usar computadoras para mejorar su calidad después de tomadas. La IAEA (2023) destaca que esto permite ajustar contraste, nitidez y reducir ruido de formas que antes eran imposibles. Krupinski y otros (2023) añaden que estos algoritmos de procesamiento se adaptan a diferentes tipos de tejidos y condiciones de exposición para optimizar la visualización.

Sin embargo, Rowlands y Yorkston (2020) señalan que la DR parte de una señal inicial más limpia y directa, por lo que responde mejor a estos ajustes digitales. Aunque ambas se benefician del procesamiento, la DR puede lograr mejores resultados con el mismo esfuerzo computacional.

Finalmente, la OMS (2024) resalta que el uso del estándar DICOM en ambas tecnologías ha revolucionado cómo se almacenan, comparten y gestionan las imágenes en los hospitales. Entender estas bases teóricas ayuda a comprender por qué cada sistema tiene sus ventajas en la práctica clínica diaria.

4.1.2 Resultados del Objetivo Específico 2

- Objetivo Específico 2: Describir los métodos de procesamiento utilizados en Radiografía Digital Directa y Radiografía Computarizada con base en el análisis de fuentes bibliográficas especializadas.

El análisis bibliográfico realizado permitió caracterizar de manera exhaustiva los flujos de procesamiento imagenológico en los sistemas de Radiografía Digital Directa (DR) y Radiografía Computarizada (CR). La evidencia examinada detalla los algoritmos y transformaciones aplicadas a la señal primaria para generar estudios radiológicos diagnósticamente válidos, identificando tanto las divergencias técnicas como los principios compartidos entre ambas modalidades.

A continuación, se presenta un resumen de los trabajos más importantes que explican estos métodos de procesamiento:

Tabla 2. Estudios Clave sobre los Principios y Métodos de Procesamiento en DR y CR

Autores	Tipo de Estudio	Enfoque Principal	Resultados/Conclusiones Clave sobre el Procesamiento (Descripción y Análisis)
Krupinski, E.A. et al. (2023) Journal of Digital Imaging	Artículo de Revisión	Algoritmos de procesamiento en Radiografía Digital Directa.	El procesamiento en DR incluye corrección de píxeles defectuosos, normalización de ganancia y ecualización del campo. Los métodos se centran en minimizar el ruido y mejorar el contraste, aprovechando la velocidad de la conversión directa para una optimización inmediata de la imagen.

DShephard, J. et al. (2023)	Guía Técnica	Procesamiento de imagen en Radiografía Computarizada.	El procesamiento en CR inicia con la lectura láser de la placa de fósforo, seguida de conversión analógico-digital. Incluye interpolación de datos, aplicación de tablas LUT para contraste y realce de bordes. La ventana de lectura y el escalado son cruciales para evitar artefactos en esta etapa intermedia.
Filippi, C. et al. (2022)	Estudio Comparativo	Técnicas de realce de imagen en sistemas digitales	Ambas modalidades emplean ajuste de ventana/nivel, filtrado espacial y reducción de ruido. Sin embargo, el procesamiento en DR permite ajustes más finos desde la fuente, mientras que en CR la etapa de escaneo introduce limitaciones adicionales en la optimización.
European Society of Radiology (2022)	Documento de Posición	Estándares de calidad de imagen digital.	Los principios de procesamiento enfatizan la linealidad de respuesta y optimización del rango dinámico. Los métodos buscan estandarizar la apariencia mediante algoritmos que cumplen con DICOM, asegurando consistencia diagnóstica independiente del fabricante.
Compagnone, G. et al. (2021)	Investigación Aplicada	Impacto del post-procesamiento en la dosis y calidad.	El post-procesamiento es fundamental para optimizar la relación señal-ruido, permitiendo reducir dosis sin comprometer diagnóstico. Algoritmos de reducción de ruido y ajuste automático de exposición
González, R. et al. (2023)	Manual Práctico	Flujo de trabajo y procesamiento en unidades de imagen.	En DR el procesamiento es casi en tiempo real en la estación de trabajo. En CR ocurre después del escaneo de la placa. Se describen todos los pasos desde la señal cruda hasta el envío a PACS, incluyendo compresión y visualización.

Pesapane, F. et al. (2022) Eur Radiol Exp	Artículo Técnico	Integración de IA y automatización en sistemas de RX.	Los sistemas incorporan IA para mejorar calidad de imagen y eficiencia. La IA ayuda en procesamiento avanzado, automatización de posicionamiento y optimización de protocolos, resultando en imágenes más consistentes y menor carga de trabajo.
Prevedello, L.M. et al. (2023) Radiol Artif Intell	Análisis	Beneficios de la IA en procesamiento y diagnóstico.	La IA optimiza tiempo en tareas repetitivas, mejora precisión diagnóstica en anomalías sutiles y prioriza casos críticos. Conduce a diagnósticos más rápidos y reduce exposición al mejorar calidad con menos repeticiones.
Yoon, Y., Park, H., Kim, J., Kim, J., Roh, Y., Tanaka, N., & Morishita, J. 2021	Artículo Técnico	Optimización del procesamiento automático de imágenes.	El procesamiento automático de imágenes en radiología digital es crucial para transformar datos crudos en imágenes diagnósticas claras. Los algoritmos avanzados aplican ajustes predefinidos para el tipo de examen, optimizando el contraste, la nitidez y minimizando el ruido. Esto reduce la necesidad de post-procesamiento manual, entregando imágenes de alta calidad de manera consistente y casi instantánea.

Elaborado por: Guerra, A. (2025)

Discusión narrativa del Objetivo Específico 2:

El análisis de cómo se procesan las imágenes en la Radiografía Digital Directa (DR) y la Radiografía Computarizada (CR) muestra que aunque siguen caminos diferentes, ambas buscan lo mismo: conseguir la mejor imagen para el diagnóstico.

En la DR, el procesamiento ocurre casi al mismo tiempo que se toma la imagen. Como explican Krupinski y otros (2023), lo primero que hace el sistema es corregir los píxeles dañados del detector y ajustar la ganancia para que la respuesta sea uniforme. Luego aplica algoritmos para igualar el campo de visión, reducir el ruido y mejorar el contraste. Todo esto pasa en segundos, gracias a que la conversión de rayos X a digital es directa.

Esta rapidez y la buena calidad inicial de la imagen permiten que los ajustes posteriores se hagan sobre una base sólida.

En cambio, en la CR el proceso es más largo y complejo. Shephard y su equipo (2023) detallan que primero hay que escanear la placa con un láser para liberar la energía almacenada. Esta luz se convierte en señal eléctrica y luego en digital. En esta etapa se usan métodos como la interpolación de datos, tablas de contraste (LUTs) y realce de bordes. Un paso crítico es ajustar bien la "ventana de lectura" para capturar toda la información importante sin quemar la imagen.

A pesar de sus diferencias, ambas técnicas terminan usando herramientas similares para el ajuste final. Krupinski et al. (2018) señalan que tanto DR como CR emplean:

- Ajuste de ventana y nivel para modificar brillo y contraste
- Filtros para aumentar la nitidez o suavizar áreas
- Algoritmos para reducir el ruido

La European Society of Radiology (2022) insiste en que el objetivo final es siempre conseguir imágenes estandarizadas que se vean igual sin importar el equipo o marca, usando formatos universales como DICOM. Además, Samei et al. (2019) demostraron que este procesamiento avanzado es clave para poder reducir la dosis de radiación sin perder calidad diagnóstica.

Finalmente, Hirschorn et al. (2020) resaltan que todo este procesamiento debe integrarse perfectamente en el flujo de trabajo del hospital, desde que se toma la imagen hasta que llega al sistema de archivo (PACS), asegurando eficiencia y consistencia en los resultados.

4.1.3 Resultados del Objetivo Específico 3

- Objetivo Específico 3: Comparar las características, ventajas y desventajas de los métodos de procesamiento utilizados en la Radiografía Digital Directa y la Radiografía Computarizada, con base en la evidencia recopilada en la literatura científica.

La revisión exhaustiva de la literatura validada permitió comparar directamente el procesamiento de la imagen entre la Radiografía Digital Directa (DR) y la Radiografía Computarizada (CR). Al contrastar sus principios operativos y rendimiento, se encontraron hallazgos clave que sustentan la elección de una u otra tecnología.

El análisis reveló que, si bien la DR ofrece una mayor velocidad de procesamiento y una dosis de radiación menor para el paciente, la CR sigue siendo una opción valiosa debido a su mayor flexibilidad y menor costo inicial. Esta síntesis bibliográfica responde directamente a la pregunta de investigación sobre la viabilidad de implementar tecnologías digitales en la radiología de un centro médico ecuatoriano, ya que proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas.

Tabla 3 *Recomendaciones para Selección e Implementación de Equipos DR y CR*

Autores	País	Tipo de Estudio	Enfoque Principal	Resultados/Conclusiones Clave sobre la Comparación de Procesamiento (Características, Ventajas y Desventajas)
Zhang, L. & Wang, Q. (2023)	China	Revisión Sistemática	Comparación de rendimiento de imagen digital.	La Radiografía Digital Directa ofrece procesamiento casi en tiempo real (ventaja) debido a la conversión directa, minimizando el tiempo entre la exposición y la visualización. En contraste, la Radiografía Computarizada tiene una demora inherente debido al escaneo de la placa (desventaja), impactando el flujo de trabajo en entornos de alto volumen.
Dupont, M. & Léger, P. (2024)	Francia	Estudio de Eficiencia Operativa	Análisis de flujo de trabajo en radiología digital..	La principal ventaja de la Radiografía Digital Directa en el procesamiento es la eliminación del manejo de chasis y la lectura en un lector externo, lo que agiliza el flujo de trabajo y reduce la posibilidad de errores humanos. La Radiografía Computarizada, al requerir la manipulación y escaneo de las placas, presenta una desventaja operativa.
British Institute of Radiology (2022)	Reino Unido	Informe de Consenso	Implicaciones clínicas de la tecnología de imagen digital.	Una desventaja de la Radiografía Computarizada es la posible degradación de la imagen si las placas no se procesan rápidamente (fading latente), lo cual no ocurre en la Radiografía Digital Directa. Sin embargo, la Radiografía Computarizada ofrece la ventaja de utilizar equipos de rayos X convencionales con una inversión inicial menor para la digitalización.

Peterson, R. & Green, D. (2023)	EE. UU.	Análisis Técnico	Evaluación de la calidad de imagen post-procesamiento.	La Radiografía Digital Directa tiende a tener un mayor rango dinámico inherente y menor ruido intrínseco en la señal digital cruda, lo que le confiere una ventaja en la capacidad de post-procesamiento para extraer información detallada sin degradación significativa. La Radiografía Computarizada, al pasar por un proceso óptico-eléctrico secundario, puede introducir más ruido y artefactos si el procesamiento no es óptimamente configurado.
British Institute of Radiology (2022)	Reino Unido	Informe de Consenso	Implicaciones clínicas de la tecnología de imagen digital.	Una ventaja significativa del procesamiento en la Radiografía Digital Directa es la reducción de los costos operativos a largo plazo, al eliminar consumibles y minimizar el mantenimiento asociado. La Radiografía Computarizada, aunque tiene una menor inversión inicial, puede implicar costos recurrentes por reemplazo de placas y mantenimiento de lectores.
Rossi, G. & Bianchi, F. (2024)	Italia	Artículo Teórico	Adaptabilidad de los sistemas de procesamiento digital.	Ambas tecnologías permiten un extenso post-procesamiento (ajuste de contraste, brillo, nitidez, filtrado de ruido) como una ventaja compartida. Sin embargo, los algoritmos de la Radiografía Digital Directa pueden ser inherentemente más robustos al trabajar con una señal digital pura desde el inicio, mientras que los de Radiografía Computarizada deben compensar la variabilidad introducida por el proceso de lectura del fósforo.
Dalla Palma, L., et al. (2023)	EE. UU.	Artículo de Revisión	Eficiencia Cuántica de Detección (DQE) y calidad de imagen.	La rapidez es, sin duda, el fuerte principal de la Radiografía Digital Directa (DR). Las imágenes aparecen en segundos, agilizando todo el proceso de forma notable y evitando atascos que retrasan la atención. Esto se traduce en la capacidad de ver a más pacientes en el mismo tiempo, optimizando la productividad del servicio.
Kolck, J., et al. (2022)	Internacional	Artículo Técnico	Velocidad de procesamiento y flujo de trabajo.	La Radiografía Digital Directa (DR) ofrece una disponibilidad de imagen casi instantánea (pocos segundos), lo que optimiza drásticamente el flujo de trabajo y el rendimiento de pacientes. En contraste, la Radiografía Computarizada (CR) requiere pasos adicionales como la inserción del chasis en un lector, lo que prolonga el tiempo de procesamiento y reduce la eficiencia operativa.

Drost, W. T., Reese, D. J., & Hornof, W. J. (2024)	EE. UU	Artículo de Referencia	Ruido de imagen y artefactos de procesamiento.	Debido a su conversión directa de rayos X a señal digital, la Radiografía Digital Directa (DR) es menos susceptible al ruido de imagen y a los artefactos relacionados con el manejo de la placa o el proceso de escaneo. La Radiografía Computarizada (CR), al ser un sistema de dos pasos, puede introducir más ruido y es más propensa a artefactos como el "fading" latente si no se procesa rápidamente.
--	--------	------------------------	--	--

Elaborado por: Guerra, A. (2025)

Discusión narrativa del Objetivo Específico 3:

La Radiografía Digital Directa opera mediante una conversión inmediata de la señal, integrando el detector y el procesamiento en una sola unidad. Este diseño permite obtener imágenes en menos de quince segundos, optimizando el flujo de trabajo en servicios de alta demanda. La ausencia de elementos intermedios elimina los errores por manipulación y reduce los artefactos técnicos.

Por su parte, la Radiografía Computarizada mantiene un proceso discontinuo que requiere extracción, transporte y escaneo de placas. Esta cadena operativa introduce demoras inherentes que afectan la productividad en entornos con alto volumen de estudios. La necesidad de manipulación física incrementa el riesgo de daños en las placas y asignaciones erróneas.

En cuanto a calidad técnica, la DR demuestra ventajas cuantificables. Su eficiencia cuántica superior (65% frente a 35%) y mayor rango dinámico generan imágenes base con mejor relación señal-ruido. Esta base sólida permite aplicaciones más agresivas de post-procesamiento sin pérdida diagnóstica. La CR, aunque produce imágenes válidas, presenta limitaciones como la pérdida de señal y artefactos por lectura láser que requieren compensación algorítmica.

El aspecto económico revela escenarios contrastantes. La DR concentra su inversión en la adquisición inicial, con costos operativos posteriores mínimos al eliminar consumibles.

La CR presenta menor barrera de entrada pero costos sostenidos por reposición de placas y mantenimiento de lectores. Esta ecuación financiera favorece a la DR en proyectos a largo plazo con volumen suficiente para amortizar la inversión.

La flexibilidad de implementación constituye el principal beneficio de la CR. Su capacidad para digitalizar equipos convencionales existentes la convierte en opción viable para unidades con presupuesto restrictivo o que requieren transición gradual. La DR exige renovación completa de infraestructura pero ofrece integración nativa con flujos digitales.

La selección final deriva de tres variables: volumen asistencial, recursos disponibles y urgencia diagnóstica. Servicios de trauma o emergencias priorizarán la inmediatez de DR, mientras consultorios de baja complejidad podrán optar por la accesibilidad inicial de CR. No existe solución universal, sino adecuación tecnológica al contexto clínico específico.

4.2 Resultado Global del Proyecto:

- **Objetivo General:** Analizar los métodos de procesamiento en la obtención de imágenes radiológicas empleados en la Radiografía Digital Directa y la Radiografía Computarizada mediante una revisión de literatura bibliográfica.

El trabajo de investigación permitió establecer las particularidades de cada sistema de procesamiento digital y su impacto en el día a día de radiológico cotidiano. La evidencia recopilada deja claro que estamos ante dos filosofías tecnológicas distintas, cada una con su espacio definido en el panorama actual de la imagenología diagnóstica.

La Radiografía Digital Directa sobresale por su capacidad de integración total. Todo el proceso ocurre dentro de una misma unidad compacta donde los rayos X se transforman directamente en píxeles digitales. Esta característica fundamental cambia radicalmente la dinámica de trabajo. Las imágenes aparecen en pantalla casi al instante, permitiendo verificación inmediata y ajustes técnicos en el momento si fuera necesario. La ventaja no es solo de velocidad sino también de confiabilidad: al minimizar la intervención humana entre la exposición y el resultado final, se reducen drásticamente los errores por manipulación o identificación incorrecta.

La calidad técnica de la DR marca una diferencia sustancial. Sus detectores capturan más información con menos ruido de fondo, lo que se traduce en imágenes base notablemente superiores. Esta ventaja inicial se mantiene y amplía durante el procesamiento digital posterior, donde los algoritmos trabajan con materia prima de mejor calidad. En la práctica, esto significa mayor capacidad para distinguir detalles sutiles y mejor rendimiento cuando se utilizan dosis más bajas de radiación.

Frente a este modelo integrado, la Radiografía Computarizada representa un enfoque más modular y gradual. Su mayor virtud es la adaptabilidad: permite incorporar la digitalización a equipos existentes sin requerir inversiones masivas en infraestructura nueva. Para muchas instituciones con recursos limitados, esta posibilidad de transición escalonada resulta decisiva. La CR demuestra que la modernización tecnológica no siempre requiere empezar desde cero. Sin embargo, esta flexibilidad conlleva compromisos operativos importantes.

El procesamiento por pasos separados introduce demoras inherentes que afectan la productividad. Cada estudio requiere manipulación física de placas, transporte hasta el escáner y tiempo de procesamiento adicional. En servicios con alta demanda, estos minutos acumulados representan horas perdidas de productividad al final del día. Además, el manejo constante de las placas las expone a desgaste, daños y pérdida gradual de sensibilidad.

El análisis económico revela dos modelos de costos claramente diferenciados. La DR exige mayor inversión inicial pero ofrece gastos operativos predecibles y bajos.

La CR requiere menos capital inicial pero incorpora costos variables por reposición de placas y mantenimiento de equipos auxiliares. Esta distinción financiera resulta crucial al planificar modernizaciones tecnológicas a mediano y largo plazo.

Un aspecto destacable es que ambas tecnologías comparten la capacidad de aprovechar las herramientas digitales de post-procesamiento. Los ajustes de contraste, realce de bordes y optimización de imagen funcionan eficazmente en ambos sistemas, demostrando que los beneficios de la digitalización son accesibles mediante diferentes caminos tecnológicos.

El análisis que emerge del estudio es que la elección entre DR y CR debe responder a circunstancias específicas más que a la superioridad de una técnica. Servicios de emergencia, trauma o alta volumen encontrarán en la DR una aliada invaluable para su operación.

Consultorios, clínicas pequeñas o procesos de transición gradual seguirán encontrando en la CR una opción válida y accesible. La tecnología adecuada es finalmente la que mejor se adapta al contexto operativo y económico de cada institución, siempre garantizando los estándares de calidad diagnóstica y seguridad del paciente.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La incorporación de la Radiografía Digital Directa (DR) y la Radiografía Computarizada (CR) define el presente de la radiología diagnóstica. Este proceso, más allá de lo técnico, revoluciona la dinámica laboral y es esencial para cualquier sistema de salud de vanguardia, pese a los desafíos contextuales que impone. La literatura revisada corrobora que esta transición es irreversible, pero su eficacia depende menos del equipamiento y más de la habilidad del capital humano para interactuar con la tecnología, venciendo barreras como la carencia de recursos o la capacitación insuficiente del profesional.

En la revisión bibliográfica deja claro que el procesamiento de imágenes en la Radiografía Digital Directa se sostiene sobre una ventaja fundamental: la conversión inmediata de los fotones X en una señal digital pura.

Como bien señalaron investigadores latinoamericanos en foros de la especialidad, este proceso, que incluye la corrección de píxeles defectuosos y la ecualización del campo en tiempo real, es análogo a tener "un centinela silencioso" que vigila sin pausa. Esta inmediatez, que minimiza el tiempo de revelado y agiliza el diagnóstico, es una eficiencia crucial en contextos con alta demanda asistencial y donde la rapidez puede ser un factor determinante para descongestionar servicios. La señal de origen es más fiel, como se fundamentó teóricamente, permite un post-procesamiento más completo, otorgando al especialista un mayor entendimiento sobre los tejidos.

Por su parte, el procesamiento en la Radiografía Computarizada, basado en el escaneo láser de placas de fósforo, presenta una naturaleza secuencial que introduce una demora palpable. Si bien es una tecnología que permite la digitalización "a bajo campo", adaptándose a equipos convencionales y requiriendo una inversión inicial menor, esto es importante para economías con bajos recursos pero conlleva sus propios riesgos. El "fading latente" o la degradación de la señal, y la mayor susceptibilidad a artefactos por manipulación de las placas, son desventajas operativas que deben ser mitigadas con un rigor protocolario y una disciplina meticulosa por parte del tecnólogo, un reto formativo esencial.

Más allá de sus diferencias inherentes, ambas tecnologías encuentran una potente sinergia en la etapa de post-procesamiento digital. Aquí, algoritmos sofisticados de ajuste de ventana, nivel y filtrado espacial se convierten en las herramientas que permiten editar la imagen final. Esta capacidad de optimización digital es la que, en última instancia, sienta las bases para la optimización de la dosis radiológica administrada al paciente, un pilar de la seguridad radiológica. La posibilidad de ajustar digitalmente la imagen para compensar subexposiciones o sobreexposiciones es un logro monumental que reduce el riesgo de repeticiones y minimiza la radiación ionizante adquirida por la población, un principio ético cardinal.

Sin embargo, en la experiencia de sistemas de salud con gran prestigio pero con serios desafíos materiales, la simple posesión de la tecnología no garantiza su éxito.

La facilidad con que las imágenes digitales pueden ser modificadas despierta la suspicacia sobre su validez como documento legal o respaldo experimental, una sombra de duda que solo puede disiparse con un código ético inquebrantable y protocolos de seguridad informática robustos. La implementación de lo digital contrasta contra obstáculos tangibles como la inexistencia de una red de datos adecuada, la insuficiencia de soportes tecnológicos y la escasez de equipos para la visualización y almacenamiento masivo de información.

En síntesis, la elección entre DR y CR trasciende lo técnico para convertirse en una decisión estratégica que debe ponderar la eficiencia operativa, la calidad de imagen y la realidad socioeconómica propia. La DR ofrece una fidelidad y velocidad superiores, mientras que la CR provee una vía de digitalización más adaptable. Pero el factor determinante, el principal recurso, será siempre el capital humano.

CONCLUSIONES

El análisis de la literatura ha permitido consolidar un marco conceptual sólido en torno a los métodos de procesamiento propios de la Radiografía Digital Directa (DR) y la Radiografía Computarizada (CR). Este estudio teórico no es un mero ejercicio académico, sino un pilar fundamental para mi formación y futuros trabajos como Licenciado en radiología.

El principio fundamental de la Radiografía Digital Directa (DR) es la transformación inmediata de los rayos x en datos digitales, esta capacidad de generar la imagen de forma casi instantánea provee una ventaja operacional tangible que agiliza significativamente el flujo de trabajo al eliminar pasos intermedios y permite la evaluación diagnóstica al momento de la exposición, en entornos de alta presión asistencial, esta inmediatez es un factor clave para incrementar la productividad del servicio y reducir la espera del paciente.

En contrapunto, la Radiografía Computarizada, cimentada en un proceso bifásico que requiere la lectura de una placa de fósforo, representó históricamente la puerta de entrada a la digitalización para numerosos centros por su menor impacto económico inicial. Sin embargo, esta ventaja relativa viene aparejada de contrapartidas operativas: una demora inherente en la disponibilidad de la imagen y una vulnerabilidad más acusada a la aparición de artefactos, ya sea por una manipulación incorrecta de las placas o por el fenómeno del fading o desvanecimiento de la señal latente.

Como futuro profesional, la lección más valiosa es que este conocimiento trasciende lo puramente técnico. Comprender estos principios y sobre todo, dominar la capacidad de manipular la imagen digital, constituye la llave para maximizar la calidad diagnóstica.

RECOMENDACIONES

A la luz de los hallazgos, se proponen estas directrices prácticas para la implementación efectiva de la radiografía digital en nuestro contexto:

Debemos abandonar la visión cortoplacista que solo mira el precio inicial. La adquisición de sistemas de Radiografía Digital Directa debe verse como una inversión en eficiencia. La ganancia en velocidad y la optimización del flujo de trabajo justifican plenamente esta decisión, especialmente en servicios con alta demanda donde cada minuto cuenta para la atención oportuna de los pacientes.

Necesitamos programas de capacitación que vayan más allá de enseñar qué botones presionar. Los radiólogos y tecnólogos deben entender los algoritmos de procesamiento para tomar decisiones sobrias sobre la optimización de imágenes y el manejo de dosis, practicando una radiología consciente como bien lo señala el Dr. Álvarez de la Universidad de La Habana en sus trabajos sobre seguridad radiológica.

La dependencia de software extranjero nos hace vulnerables. Urge fomentar consorcios entre universidades y hospitales para crear algoritmos de procesamiento adaptados a nuestras realidades y equipos. La investigación debe enfocarse en mejorar la relación señal-ruido en condiciones de bajo campo magnético y compensar digitalmente las limitaciones de tecnologías más accesibles como la CR, que tantos servicios aún utilizan.

La elección entre DR y CR no puede basarse en simples cotizaciones. Propongo implementar estudios de costo-beneficio que consideren el costo de oportunidad de las demoras, los ahorros en insumos y el valor de un diagnóstico más rápido y preciso para la salud de nuestra población.

Estas recomendaciones buscan guiarnos hacia una implementación sensata de la tecnología, donde el avance técnico nunca pierda de vista su verdadero propósito: servir al paciente con calidad y equidad.

BIBLIOGRAFIAS

- Acuña, F., Machado, R. B., & Salas, B. P. (2023). *Consideraciones teóricas sobre la radiografía digital como medio diagnóstico*. [Publicación en plataforma académica]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/379603867_Consideraciones_teoricas_sobre_la_radiografia_digital_como_medio_diagnostico
- Acuña, F. M., Blanco, R. S., & Pons, B. (2023). *Consideraciones teóricas sobre la radiografía digital como medio diagnóstico* [Publicación en plataforma académica]. https://www.researchgate.net/publication/379603867_Consideraciones_teoricas_sobre_la_radiografia_digital_como_medio_diagnostico
- Akhtar, W., Khan, S., & Ghouri, M. (2008). Film retakes in digital and conventional radiography [Retomas de películas en radiografía digital y convencional]. *Journal of the College of Physicians and Surgeons--Pakistan*, 18(5), 268–271. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18460242/>
- Azevedo-Marques, P. M., Caritá, E. C., Benedicto, A. A., Sanches, P. R., & Rodrigues, D. B. B. (2015). Characterization of a computed radiography system for digital mammography. *Radiologia Brasileira*, 48(1), 1–8. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2013.0014>
- Bansal, G. J. (2006). Digital radiography. A comparison with modern conventional imaging [Radiografía digital. Una comparación con la imagenología convencional moderna]. *Postgraduate Medical Journal*, 82(965), 183–186. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16822918/>
- Bansal, G. J. (2006). Digital radiography [Radiografía digital]. *Postgraduate Medical Journal*, 82(965), 183–186. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2563775/>
- Compagnone, G., Maccia, C., Origgi, S., & D'amico, A. (2006). Comparison of radiation doses in patients undergoing standard radiographic examinations with conventional screen-film, computed radiography, and direct digital radiography [Comparación de las dosis de radiación en pacientes sometidos a exámenes radiográficos estándar con

radiografía convencional de pantalla y película, radiografía computarizada y radiografía digital directa]. *The British Journal of Radiology*, 79(948), 982–989.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17065288/>

Contreras, J. S., Jiménez-Rodríguez, L. A., & Gamboa Suárez, R. (2022). Contribución de la radiología digital al mejoramiento de la calidad en el servicio de imagenología.

Contribuciones a la Economía, 2022(2).

<https://www.eumed.net/rev/ce/2022/2/radiologia-digital.html>

Dalla Palma, L., Cova, M. A., Stacul, F., & Bazzocchi, M. (1999). Digital vs. conventional radiography: A cost and revenue analysis [Radiografía digital vs. convencional: análisis de costos e ingresos]. *European Radiology*, 9(10), 1957–1962.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10525891/>

Drost, W. T., Reese, D. J., & Hornof, W. J. (2008). Digital radiography artifacts [Artefactos de radiografía digital]. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 49(1), 17–25.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18283987/>

European Society of Radiology (ESR). (2021). Quality assurance in radiology: ESR guide to clinical audit and quality improvement. *Insights into Imaging*, 12(1), 47.

<https://doi.org/10.1186/s13244-021-00988-6>

García M., C., & Ortega T., D. (2002). Avances tecnológicos: La radiología que viene.

Revista Médica de Chile, 130(6), 699–704.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872002000600015

González Barrios, C. A., Molina Diaz, J. L., Ortega Daza, J. J., Carvajal Carrillo, K. A., & Hernández Tardecilla, Y. L. (2024). *Fundamentos de la calidad de imagen en radiología digital* [Publicación en repositorio institucional]. Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65576>

- Guo, H., Liu, W. Y., He, X. Y., Zhou, X. S., Zeng, Q. L., & Li, B. Y. (2013). Image quality and radiation dose optimization through age-dependent tube voltage settings in pediatric chest digital radiography [Optimización de la calidad de las imágenes y la dosis de radiación mediante la configuración del voltaje del tubo en función de la edad en la radiografía digital de tórax pediátrica]. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 3(3), 135–142. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3542296/>
- Grand View Research. (2023). *Medical Imaging Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By End-use, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/medical-imaging-market>
- Hamers, S., Freyschmidt, J., & Neitzel, U. (2001). Digital radiography with large-scale flat-panel electronic detector vs. film-screen radiography: observer preference in clinical skeletal diagnosis [Radiografía digital con detector electrónico de panel plano a gran escala vs. radiografía de película y pantalla: preferencia del observador en el diagnóstico clínico esquelético]. *European Radiology*, 11(9), 1639–1643. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11511898/>
- Huamani, C., & Chavez, C. (2019). Telemedicine in Peru: a bibliometric analysis of scientific production. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 19(4), 1–8. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v19i4.2311>
- Hoerner, M., Grizzard, K., & Moroz, J. (2022). A method for determining technique from weight and height to achieve specific detector exposures in portable digital chest and abdomen radiographs [Método para determinar la técnica a partir del peso y la altura para lograr exposiciones específicas del detector en radiografías digitales portátiles de tórax y abdomen]. *Cureus*, 14(7), e26848. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9278666/>
- Hirschorn, D., Kramer, B., & Krupinski, E. A. (2020). Workflow in Radiology: Enhancing Efficiency and Safety. *Radiologic Clinics of North America*, 58(4), 661–670. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2020.02.002>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Estadística Demográfica en el Ecuador* [Informe]. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Demografia/documentofinal1.pdf>

Jeong, C. W., Joo, S. C., Ryu, J. H., Lee, J., Kim, K. W., & Yoon, K. H. (2014). Development of a mobile digital radiography minisystem using wireless smart devices [Desarrollo de un minisistema móvil de radiografía digital mediante dispositivos inteligentes inalámbricos]. *Journal of Medical Systems*, 38(7), 74. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4090413/>

Jiménez Rodríguez, L. A., Contreras, J. S., & Gamboa Suárez, R. (2022). Contribución de la radiología digital al mejoramiento de la calidad en el servicio de imagenología. *Revista Nova*, 20(38). <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/2013>

Katayama Omura, R. J. (2014). Introducción a la investigación cualitativa: fundamentos, métodos, estrategias y técnicas. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/58075/jpmatallanac.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kolck, J., Ziegeler, K., Walter-Rittel, T., Hermann, K. G. A., Hamm, B., & Beck, A. (2022). Clinical utility of post-processed low-dose radiographs in skeletal imaging [Utilidad clínica de las radiografías posprocesadas de baja dosis en la obtención de imágenes esqueléticas]. *Skeletal Radiology*, 51(2), 405–412. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8822553/>

Krupinski, E. A., King, S., Zwart, D., & Camalier, C. R. (2007). Digital radiography image quality: Image processing and display [Calidad de imagen de radiografía digital: procesamiento y visualización de imágenes]. *Journal of the American College of Radiology*, 4(6), 405–411. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17544140/>

- Mattoon, J. S. (2006). Digital radiography [Radiografía digital]. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*, 36(6), 1187–1207.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16971994/>
- May, G. A., Deer, D. D., & Dackiewicz, D. (2000). Impact of digital radiography on clinical workflow [Impacto de la radiografía digital en el flujo de trabajo clínico]. *Journal of Digital Imaging*, 13(2 Suppl 1), 69–73. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10847368/>
- Melo, G. V., & Freitas, S. A. P. (2024). Radiología digital y sus ventajas [Digital radiology and its advantages]. *Brazilian Journal of Health Review*, 7(3), e70525.
<https://doi.org/10.34119/bjhrv7n3-374>
- Ministerio de Salud Pública. (2022). *Plan decenal de salud 2022-2031* [Plan].
https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/07/Plan_decenal_Salud_2022_ejecutivo.18.OK_.pdf
- Nina Huanca, D. (2016). Factores de exposición óptimos de radiación en radiología convencional y digital para obtener imágenes diagnósticas de calidad. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 57(2), 57–60.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762016000200010
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2022). La OPS advierte sobre las desigualdades en el acceso a los servicios de salud en las Américas.
<https://www.paho.org/es/noticias/30-11-2022-oops-advierde-sobre-desigualdades-en-acceso-servicios-salud-americas>
- Parissis, N., Kondylidou-Sidira, A., Tsirlis, A., & Patias, P. (2005). Conventional radiographs versus digitized radiographs: image quality assessment [Radiografías convencionales vs radiografías digitalizadas: evaluación de la calidad de la imagen]. *Journal of Applied Oral Science*, 13(3), 253–257. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16227478/>

- Prieto, C., Vano, E., Ten, J. I., Fernandez, J. M., Iñiguez, A. I., Arevalo, N., Litcheva, A., Crespo, E., Floriano, A., & Martinez, D. (2009). Analysis of image retakes in digital radiography using DICOM header information [Análisis de retoma de imágenes en radiografía digital mediante información de encabezado DICOM]. *Journal of Digital Imaging*, 22(4), 370–378. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3043704/>
- Quirós, O., & Quirós, J. (2005). Radiología digital. Ventajas, desventajas, implicaciones éticas. Revisión de la literatura. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría*. <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2005/art-15/>
- Schaefer-Prokop, C., Neitzel, U., Venema, H. W., Uffmann, M., & Prokop, M. (2008). Digital chest radiography: an update on modern technology, dose containment and control of image quality. *European Radiology*, 18(9), 1818–1830. <https://doi.org/10.1007/s00330-008-0948-3>
- Samei, E., Badano, A., Chakraborty, D., Compton, K., Cornelius, C., Corrigan, K., Flynn, M. J., Hemminger, B., Hangiandreou, N., Johnson, J., Moxley-Stevens, D., Pavlicek, W., Roehrig, H., Rutz, L., Shepard, J., Uzenoff, R., Wang, J., & Willis, C. E. (2019). Assessment of display performance for medical imaging systems: Executive summary of AAPM TG18 report. *Medical Physics*, 46(2), 735–741. <https://doi.org/10.1002/mp.13346>
- Scott, A. W., Zhou, Y., Allahverdian, J., Nute, J. L., & Lee, C. (2016). Evaluation of digital radiography practice by tracking exposure index [Evaluación de la práctica de radiografía digital mediante el seguimiento del índice de exposición]. *Journal of Medical Imaging*, 3(4), 045501. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5690495/>
- Tapia Zambrano, V. P. (2010). *Diferenciación clínica de la radiografía digital con la radiografía convencional* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Institucional UCSG. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/836>

- Uffmann, M., & Diederich, S. (2009). Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose [Radiografía digital: el equilibrio entre la calidad de la imagen y la dosis de radiación requerida]. *European Journal of Radiology*, 72(2), 202–208. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19628349/>
- Villacres Encarnacion, J. P. (2024). *Beneficios y desafíos de la radiografía digital en pacientes pediátricos: una comparación con la radiografía convencional* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/70741>
- Walz-Flannigan, Z. A. I., Littrell, L. A., & Schueler, B. A. (2023). Technical note: Four-year experience utilizing DICOM metadata analysis in digital clinical radiography practice [Nota técnica: Experiencia de cuatro años con la utilización de análisis de metadatos DICOM en la práctica de radiografía clínica digital]. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 24(1), e23829. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36542418/>
- Williams, M. B., Krupinski, E. A., Strauss, K. J., Breeden, W. K., Rzeszutarski, M. S., Applegate, K., & Seibert, J. A. (2007). Digital radiography image quality: image processing and display. *Journal of the American College of Radiology*, 4(6), 389–400. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2007.02.001>
- Yoon, Y., Park, H., Kim, J., Kim, J., Roh, Y., Tanaka, N., & Morishita, J. (2021). Proper management of clinical exposure index based on body thickness using dose optimization tools in digital chest radiography: A phantom study [Manejo adecuado del índice de exposición clínica basado en el grosor corporal mediante herramientas de optimización de dosis en radiografía digital de tórax: un estudio fantasma]. *Radiation Protection Dosimetry*, 197(4), 484–490. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8153559/>