

**Análisis documental sobre el impacto de la ausencia de protocolos de monitoreo predictivo
en la calidad diagnóstica y la eficiencia operativa de los servicios de radiología digital**

Bibian Yurley Ramos Bahamon

Fredy Leonardo Buitrago Pineda

Jessica Fernanda Andrade Bocanegra

Kelly Johana Vásquez Piaguaje

Marla Yissenia Moreno Barragán

Asesor

Edna Rocío Jamaica Guío

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud- ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2026

Resumen

El presente trabajo investigativo examina la relevancia del mantenimiento predictivo en los servicios de radiología digital, destacando su influencia en la calidad de los diagnósticos y en el desempeño operativo de los equipos. Aunque la tecnología en Imagenología ha evolucionado significativamente, en muchos entornos aún se recurre principalmente al mantenimiento correctivo, lo que dificulta la detección oportuna de fallas y puede comprometer la continuidad del servicio. La investigación se desarrolla mediante un enfoque cualitativo de tipo documental, apoyado en la revisión de fuentes bibliográficas relacionadas con la gestión de equipos biomédicos y la seguridad del paciente. Entre los hallazgos más relevantes se encuentran la reducción en la vida útil de los equipos, el incremento en la repetición de estudios y posibles afectaciones en la calidad de la imagen diagnóstica. Finalmente, se establece que la incorporación de estrategias de mantenimiento predictivo, junto con la implementación de indicadores de desempeño (KPI), contribuye significativamente a mejorar la eficiencia operativa, garantizar la calidad del diagnóstico y promover prácticas seguras para el paciente.

Palabras Clave: mantenimiento predictivo, radiología digital, gestión tecnológica, calidad de imagen, seguridad del paciente.

Abstract

His research examines the relevance of predictive maintenance in digital radiology services, highlighting its influence on the quality of diagnoses and the operational performance of equipment. Although imaging technology has evolved significantly, corrective maintenance is still the primary approach in many settings, hindering the timely detection of failures and potentially compromising service continuity. The research employs a qualitative, documentary approach, supported by a review of bibliographic sources related to the management of biomedical equipment and patient safety. Among the most relevant findings are the reduction in equipment lifespan, the increase in repeat studies, and potential impacts on the quality of diagnostic images. Finally, the study concludes that incorporating predictive maintenance strategies, along with the implementation of key performance indicators (KPIs), significantly contributes to improving operational efficiency, ensuring diagnostic quality, and promoting safe patient practices.

Keywords: predictive maintenance, digital radiology, technology management, image quality, patient safety

Tabla de Contenido

Introducción	8
Planteamiento del Problema.	10
Justificación	11
Objetivos	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
Evolución Tecnológica y Necesidad de Gestión	16
Mantenimiento Correctivo vs Predictivo	17
Inteligencia Artificial y Monitoreo	17
Calidad Diagnóstica y Seguridad Del Paciente	18
Indicadores de Gestión (KPI) y Contexto Nacional	20
<i>Contexto Colombiano</i>	23
Marco Normativo y Regulación en Radiología Digital.....	24
<i>Normatividad Internacional</i>	24
<i>Normatividad Colombiana</i>	24
Impacto Económico del Mantenimiento Correctivo.....	25
Importancia del Talento Humano en la Gestión Tecnológica	26
Ética y Deontología en Radiología Digital	27
Metodología	28
Resultados.....	30

Relación entre Mantenimiento y Seguridad del Paciente	31
Impacto del Mantenimiento Predictivo en la Disponibilidad Operativa	32
Implementación de Indicadores de Desempeño (KPI)	32
Conclusiones.....	33
Referencias Bibliográficas	35

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Integración de Sistemas en Radiología Digital</i>	15
Tabla 2. <i>Criterios para Aplicar el Principio ALARA</i>	19
Tabla 3. <i>Indicadores Claves de Desempeño (KPI) en Radiología</i>	22
Tabla 4. <i>Indicadores de Fallas Técnicas</i>	30

Tabla de Figuras

Figura 1. <i>Árbol de Problemas</i>	10
Figura 2. <i>Evolución Tecnológica y Digitalización en los Servicios de Radiología</i>	16
Figura 3. <i>Contribución de la IA en la IM</i>	18
Figura 4. <i>Artefacto de los Blancos por Alteración de los Detectores</i>	19
Figura 5. <i>Dosis de Radiación</i>	20
Figura 6. <i>Impacto del Talento Humano en la Gestión Tecnológica</i>	26

Introducción

La radiología digital se ha consolidado en la última década como un componente esencial de los sistemas de salud modernos, transformando radicalmente el diagnóstico médico mediante la obtención de imágenes de alta resolución en tiempos reducidos. Equipos de alta complejidad, como la tomografía computarizada, la resonancia magnética y los sistemas de radiografía digital, combinan hardware especializado y software avanzado para apoyar de manera decisiva la toma de decisiones clínicas y mejorar la precisión diagnóstica (Bushberg et al., 2012). Sin embargo, el aprovechamiento pleno de estas tecnologías no depende únicamente de su adquisición, sino de una gestión tecnológica robusta que garantice su funcionamiento continuo, seguro y eficiente.

A pesar de la sofisticación de estos dispositivos, la gestión del mantenimiento en muchas instituciones de salud sigue anclada en modelos tradicionales, predominantemente correctivos y reactivos. Este enfoque, basado en intervenir el equipo solo después de que ocurre una falla, genera consecuencias críticas: incrementa los costos operativos, provoca tiempos prolongados de inactividad y compromete la continuidad asistencial. Desde la perspectiva de la protección radiológica, una gestión inadecuada tiene implicaciones éticas y clínicas, ya que las fallas técnicas no detectadas pueden degradar la calidad de las imágenes, derivando en la repetición innecesaria de estudios. Este escenario contraviene el principio internacional ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), incrementando injustificadamente la exposición del paciente a la radiación ionizante (IAEA, 2014).

Como respuesta a estas limitaciones y en el marco de la Transformación Digital y la Industria 4.0, surge el mantenimiento predictivo como una estrategia proactiva. Apoyado en el uso de sensores inteligentes, análisis de datos en tiempo real y la integración de sistemas de información como el HIS, RIS y PACS, este modelo permite anticipar fallas antes de que afecten

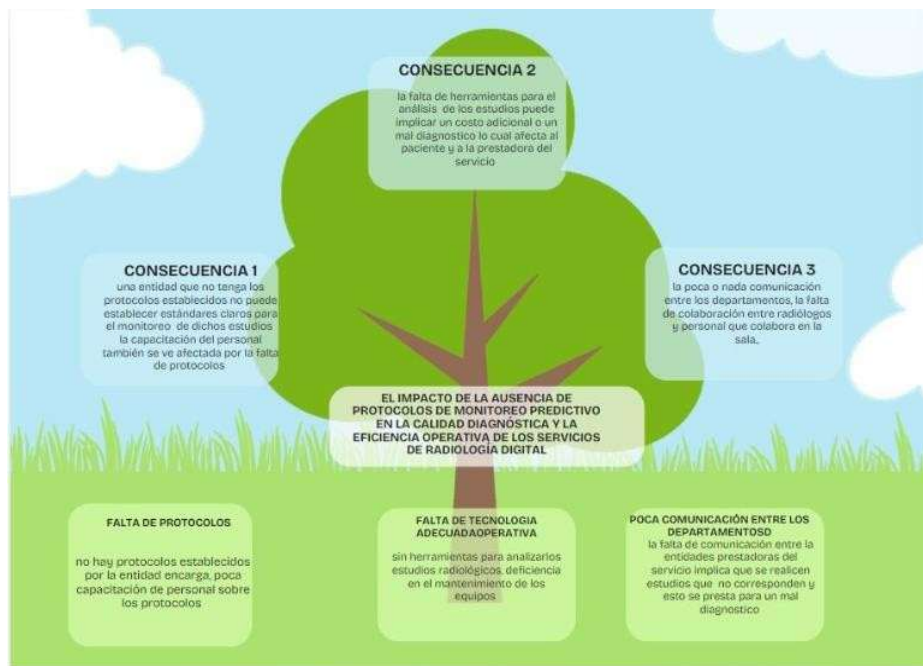
la operación, optimizando el rendimiento tecnológico y reduciendo la ocurrencia de eventos no planificados (Mobley, 2002; Carroll, 2006).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el impacto de la ausencia de protocolos de monitoreo predictivo en la calidad diagnóstica y la eficiencia operativa de los servicios de radiología digital. A través de una revisión de la literatura y un enfoque analítico, se busca evaluar las diferencias entre el mantenimiento correctivo y el predictivo, identificando soluciones que permitan cerrar la brecha entre la disponibilidad tecnológica y su aprovechamiento efectivo. El propósito final es proponer un marco de gestión que fortalezca la seguridad del paciente, optimice los recursos institucionales y garantice la sostenibilidad de los servicios de salud en el entorno digital contemporáneo.

Planteamiento del Problema.

Figura 1

Árbol de Problemas



Nota. Árbol de problemas, diseñado y creado por autoría de los 5 integrantes de trabajo, con sus respectivas consecuencias e impactos. Fuente. Elaboración propia.

La radiología digital se ha consolidado como un componente fundamental en los sistemas de salud, al permitir la obtención de imágenes diagnósticas de alta calidad con mayor resolución y en menor tiempo, lo que contribuye a una toma de decisiones clínicas más precisa y oportuna. Este avance ha sido posible gracias a la integración de tecnologías digitales que optimizan los procesos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de imágenes, fortaleciendo la eficiencia y la calidad en la atención en salud.

En este contexto, los equipos de radiología, como la tomografía computarizada, el fluoroscopio y la resonancia magnética, representan sistemas de alta complejidad tecnológica que integran componentes electrónicos y software especializado. Su funcionamiento continuo es

indispensable para garantizar la prestación del servicio, requiriendo niveles de disponibilidad operativa cercanos al 99%. Por tanto, cualquier interrupción en su operación no solo afecta la eficiencia del servicio, sino que impacta directamente la oportunidad diagnóstica y los resultados clínicos (Organización Mundial de la Salud, 2021)

Justificación

La radiología digital se ha consolidado como un apoyo fundamental en los sistemas de salud, al permitir la obtención de imágenes diagnósticas de alta calidad, con mayor resolución y menor tiempo de exposición a la radiación. Esto es posible gracias a la integración de tecnologías digitales que optimizan los procesos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de imágenes, facilitando un diagnóstico clínico más preciso y oportuno.

Los equipos de radiología, como la tomografía computarizada, el fluoroscopio y la resonancia magnética, son dispositivos de alta complejidad tecnológica que integran componentes electrónicos y software especializado. Su funcionamiento es esencial para la continuidad de la atención médica, por lo que requieren niveles de disponibilidad operativa cercanos al 99%. En este sentido, cualquier interrupción en su funcionamiento impacta directamente la prestación del servicio y los resultados clínicos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011).

En el marco de la transformación digital y la Industria 4.0, el uso de sensores inteligentes, el análisis de datos y el monitoreo en tiempo real han permitido el desarrollo de estrategias de mantenimiento predictivo. Estas herramientas facilitan la detección temprana de fallas potenciales y la optimización del rendimiento de los equipos biomédicos (Lee et al., 2014). Desde una perspectiva analítica, este enfoque representa una mejora significativa frente al mantenimiento correctivo, ya que reduce los tiempos de inactividad y los costos asociados a fallas inesperadas.

No obstante, a pesar de estos avances tecnológicos, en muchos servicios de radiología digital aún predomina el mantenimiento correctivo, el cual se basa en intervenir los equipos únicamente después de que ocurre una falla. Esta situación genera interrupciones en el servicio,

disminuye la eficiencia operativa y limita el aprovechamiento de las capacidades tecnológicas disponibles (OMS, 2011).

Las principales causas de esta problemática incluyen la ausencia de protocolos de monitoreo predictivo, la limitada integración de sistemas de supervisión tecnológica y la insuficiente capacitación del personal para interpretar datos técnicos complejos. Como consecuencia, pueden presentarse fallas progresivas no detectadas oportunamente, lo que afecta la calidad de la imagen y compromete la precisión diagnóstica (Bushberg et al., 2012).

Adicionalmente, esta situación incrementa la repetición de estudios diagnósticos, lo que conlleva a una mayor exposición del paciente a la radiación, en contravía del principio ALARA establecido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, 2007). Asimismo, el mantenimiento correctivo aumenta los costos operativos debido a reparaciones de emergencia, reemplazo de componentes y tiempos prolongados de inactividad, afectando la eficiencia del servicio y la gestión tecnológica institucional (Mobley, 2002).

En este contexto, se evidencia una brecha entre la disponibilidad de tecnologías avanzadas, como los sistemas de monitoreo predictivo, y su implementación efectiva en los servicios de salud. Esta situación está asociada, en gran medida, a la falta de personal capacitado y a la ausencia de estrategias institucionales orientadas a la gestión tecnológica basada en datos.

Por lo anterior, surge la necesidad de analizar cómo la implementación de sistemas de monitoreo predictivo puede contribuir a mejorar la disponibilidad de los equipos, fortalecer la calidad diagnóstica y optimizar la gestión tecnológica en los servicios de radiología digital.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la importancia del mantenimiento predictivo en los equipos de radiología digital, evaluando su impacto en la calidad diagnóstica, la continuidad operativa y la seguridad del paciente.

Objetivos Específicos

Identificar los principios y tecnologías utilizadas en el mantenimiento predictivo aplicadas a equipos de radiología digital.

Analizar las principales fallas técnicas que pueden prevenirse mediante la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo.

Determinar el impacto del mantenimiento predictivo en la disponibilidad y vida útil de los equipos radiológicos.

Marco Teórico

La radiología digital ha transformado significativamente la práctica diagnóstica al optimizar la adquisición, procesamiento y almacenamiento de imágenes médicas, permitiendo mayor precisión y oportunidad en la toma de decisiones clínicas. Sin embargo, este avance no depende únicamente de la tecnología en sí, sino de la correcta integración de sistemas de información como el HIS, RIS y PACS, los cuales garantizan la interoperabilidad y el flujo eficiente de la información (Contreras, et al., 2022).

Desde una perspectiva analítica, la implementación de estos sistemas no solo mejora la organización del servicio, sino que evidencia una creciente dependencia tecnológica en los procesos diagnósticos. Esto implica que cualquier falla en los equipos o en los sistemas asociados no solo afecta la operación técnica, sino que puede interrumpir la continuidad asistencial. En este sentido, la ausencia de estrategias avanzadas de monitoreo, como el mantenimiento predictivo, limita el aprovechamiento real de la radiología digital y genera una brecha entre la capacidad tecnológica instalada y su uso efectivo en la práctica clínica.

Tabla 1

Integración de Sistemas en Radiología Digital.

Sistema de información hospitalaria (HIS)	Sistema de información radiológica (RIS)	Sistema de comunicación y archivo de imágenes (PACS)
Gestiona la información general del paciente dentro de la institución.	Administra los procesos específicos del servicio de radiología, como la programación de estudios, el	Se encarga del almacenamiento, visualización y distribución de las imágenes médicas generadas por equipos diagnósticos como tomografía computarizada,

registro de pacientes y la gestión de informes.	resonancia magnética o radiografía digital.
--	--

Nota. La anterior tabla resume los principales sistemas involucrados en el flujo de trabajo de radiología digital, destacando su función. Fuente. Contreras, Jiménez y Gamboa (2022).

Evolución Tecnológica y Necesidad de Gestión

Los equipos de radiología digital han evolucionado de sistemas análogos a plataformas altamente complejas que integran hardware, software y análisis de datos. Según Machado et al. (2023), esta transición ha permitido superar limitaciones relacionadas con la calidad de imagen, el almacenamiento y la accesibilidad de la información.

Figura 2

Evolución Tecnológica y Digitalización en los Servicios de Radiología



Nota. La imagen refleja la digitación en radiología y su revolución del diagnóstico, optimizando tiempos, imagen y seguridad del paciente. Fuente. PostDICOM. (s.f.).

No obstante, este avance también ha incrementado la dependencia de una gestión tecnológica eficiente. Desde un enfoque crítico, no basta con disponer de tecnología avanzada; es necesario garantizar su funcionamiento continuo y óptimo. La falta de estrategias de monitoreo y control limita el rendimiento de los equipos, afectando directamente la calidad diagnóstica y la eficiencia del servicio, lo que refuerza la necesidad de implementar modelos de gestión basados en datos.

Mantenimiento Correctivo vs Predictivo

El modelo tradicional de mantenimiento correctivo, aún predominante en muchos servicios de radiología, se basa en la intervención posterior a la falla, lo que genera tiempos de inactividad, incremento de costos operativos y afectación en la continuidad del servicio (OMS, 2011; Mobley, 2002).

En contraste, el mantenimiento predictivo, fundamentado en el uso de sensores inteligentes y análisis de datos en tiempo real (Lee et al., 2014), permite anticipar fallas antes de que ocurran. Este enfoque no solo optimiza el rendimiento de los equipos, sino que transforma la gestión tecnológica hacia un modelo proactivo.

Desde una perspectiva analítica, la ausencia de este tipo de monitoreo en los servicios de radiología digital no representa únicamente una limitación técnica, sino una debilidad estructural en la gestión institucional. Esto impide la toma de decisiones basada en evidencia, incrementa la probabilidad de fallas inesperadas y reduce la eficiencia operativa, afectando de manera directa la calidad del servicio prestado.

Inteligencia Artificial y Monitoreo

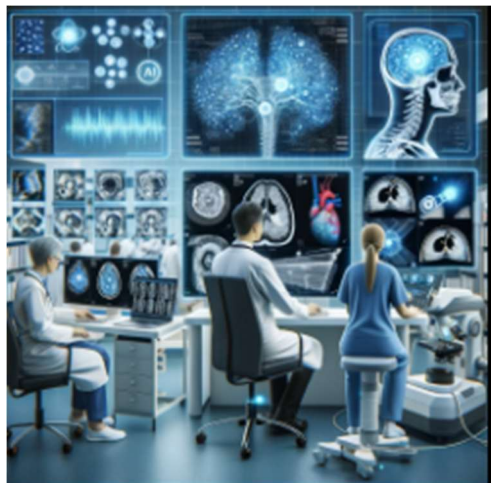
La incorporación de la inteligencia artificial en radiología ha fortalecido la capacidad de análisis de grandes volúmenes de datos, permitiendo identificar patrones y optimizar tanto el diagnóstico como la gestión de los equipos (Khalifa & Albadawy, 2024).

Sin embargo, desde un enfoque crítico, el potencial de estas tecnologías se ve limitado en contextos donde no existen sistemas de monitoreo predictivo integrados. Es decir, aunque la inteligencia artificial puede mejorar la interpretación diagnóstica, su impacto se reduce si no se garantiza el funcionamiento continuo y eficiente de los equipos. Esto evidencia que la

innovación tecnológica debe ir acompañada de estrategias de gestión que aseguren su sostenibilidad operativa.

Figura 3

Contribución de la IA en la IM.



Nota. La imagen refleja como la inteligencia artificial analiza radiografías, resonancias o TAC en segundos, asistiendo al médico y salvando vidas. Fuente. Gonzalo Penela, C. (2023)

Calidad Diagnóstica Y Seguridad Del Paciente

La calidad diagnóstica en radiología no depende exclusivamente de la tecnología utilizada, sino de las condiciones en las que esta ópera. Las fallas técnicas no detectadas oportunamente pueden generar imágenes de baja calidad, lo que incrementa la probabilidad de errores diagnósticos y la repetición de estudios (Bushberg et al., 2012).

Figura 4

Artefacto de los blancos por alteración de los detectores



Nota. La imagen muestra un TC de cerebro, corte axial: se evidencian múltiples anillos concéntricos que aparentan una “rueda de carro” (flechas). El mantenimiento y la calibración periódicos del equipo de TC evita su aparición. Fuente. Elsevier. (2015).

Desde una perspectiva analítica, esta situación tiene un impacto directo en la seguridad del paciente, ya que la repetición innecesaria de exámenes aumenta la exposición a la radiación y evidencia deficiencias en la gestión tecnológica. En este contexto, la ausencia de monitoreo predictivo no solo afecta la eficiencia operativa, sino que también compromete principios fundamentales de la práctica radiológica.

El principio ALARA (ICRP, 2007) establece que la exposición a la radiación debe mantenerse en niveles mínimos razonables. Por tanto, cualquier incremento en la repetición de estudios debido a fallas técnicas refleja una inadecuada gestión del servicio y una vulneración de los estándares internacionales de protección radiológica.

Tabla 2

Criterios para Aplicar el Principio ALARA

Distancia	Blindaje	Tiempo
------------------	-----------------	---------------

La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco productor (a mayor distancia menor intensidad).	Recurso empleado entre la fuente y el individuo cuando no son suficientes los parámetros de distancia y de tiempo.	La dosis absorbida es directamente proporcional al tiempo depositar las dosis.
--	--	--

Nota. La tabla adjunta resume los tres criterios básicos: distancia, blindaje y tiempo, para la aplicación del principio ALARA en protección radiológica. Fuente. Becerra, A. M. (s. f) Protección Radiológica: El uso de métricas como el Gray y el Sievert es esencial para monitorear el riesgo intrínseco de la radiación (Emmerson & Young, 2023).

Figura 5

Dosis de Radiación

Dosis absorbida	Energía depositada por unidad de masa	Gray (Gy) (J/Kg)
Dosis equivalente	Dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación que tiene en cuenta el tipo de radiación ionizante que produce la exposición	Sievert (Sv) (J/Kg)
Dosis efectiva	Sumatorio de dosis equivalente (en cada órgano/tejido) multiplicado por un factor de ponderación que tiene en cuenta la diferente sensibilidad de órganos y tejidos a la radiación ionizante	Sievert (Sv) (J/Kg)

Nota. La figura muestra la detección y medida de las radiaciones ionizantes. Fuente. Rincón Educativo. (s. f.).

Indicadores de Gestión (KPI) y Contexto Nacional

Para que la vigilancia técnica de los equipos y procesos en radiología sea realmente efectiva, es necesario trascender los enfoques basados en la observación subjetiva y adoptar

sistemas de evaluación sustentados en mediciones objetivas. En este sentido, los Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicators – KPI) se constituyen como herramientas esenciales para evaluar de manera sistemática el rendimiento de los equipos, la eficiencia de los procesos y el impacto de las tecnologías en la práctica clínica (J Pers Med, 2024).

Más allá de su función descriptiva, los KPI permiten establecer relaciones directas entre el desempeño tecnológico y los resultados clínicos. Indicadores como la disponibilidad del equipo, el tiempo de inactividad, la tasa de repetición de estudios y la productividad no solo reflejan el estado operativo del servicio, sino que evidencian fallas estructurales en la gestión tecnológica. Desde una perspectiva analítica, esto implica que la ausencia de sistemas de medición limita la capacidad institucional para anticipar fallas, optimizar recursos y garantizar la calidad diagnóstica.

En este contexto, la implementación de KPI adquiere un valor estratégico, ya que facilita la toma de decisiones basada en datos y promueve un enfoque de mejora continua. Por el contrario, la falta de estos indicadores perpetúa modelos reactivos de gestión, en los cuales las intervenciones se realizan únicamente después de que ocurren las fallas, afectando la eficiencia operativa y la continuidad del servicio.

En el contexto colombiano, especialmente en instituciones de baja y mediana complejidad, la transición hacia la radiología digital ha evidenciado que la disponibilidad de tecnología no es suficiente para garantizar un servicio de calidad. Según Contreras et al. (2022), es necesario complementar el equipamiento con sistemas informáticos robustos, talento humano capacitado y estrategias de gestión tecnológica que aseguren el funcionamiento óptimo del servicio.

Desde un enfoque crítico, se identifica que la principal limitación no radica en la ausencia de tecnología, sino en la falta de integración entre los sistemas existentes, los indicadores de gestión y los modelos de monitoreo predictivo. Esta desarticulación genera una brecha significativa entre la capacidad tecnológica instalada y su aplicación efectiva en la práctica clínica. Como consecuencia, se afectan la calidad diagnóstica, la eficiencia operativa y la seguridad del paciente, lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias basadas en monitoreo continuo, análisis de datos y gestión proactiva de los equipos biomédicos.

Tabla 3

Indicadores Claves de Desempeño (KPI) en Radiología

Categoría	Indicador	Métrica/ Definición
Disponibilidad del equipo	Porcentaje de tiempo operativo	Tiempo en funcionamiento/ Tiempo total programado x 100
Tiempo de inactividad	Horas fuera de servicio	Suma de horas sin operación por fallas o mantenimiento no planificado
Tasa de repetición	Estudios repetidos	(N. de estudios repetidos/ Total de estudios) x 100
Mantenimiento preventivo	Cumplimiento del plan	(Mantenimientos ejecutados/ Mantenimientos programados) x 100

Productividad	Estudios realizados por día	Promedio de estudios completados diariamente por equipo o técnico
Calidad diagnóstica	Precisión de los informantes	Concordancia entre hallazgos reportados y referencias
Análisis y mejora del desempeño	Acciones correctivas y optimización	N. de acciones implementadas/ N. de desviaciones detectadas 100

Nota. La anterior tabla muestra los indicadores para mantenimiento de equipo biomédico.

Fuente. QSYSTEMS. (2025).

Contexto Colombiano

Desde una perspectiva analítica, se reconoce que la simple disponibilidad de los equipos de radiología no garantiza por sí sola la calidad en la prestación del servicio. En este sentido, la ausencia de estrategias estructuradas de mantenimiento predictivo limita la capacidad de anticipar fallas técnicas, lo que puede afectar tanto la continuidad operativa como la confiabilidad de los resultados diagnósticos.

Adicionalmente, esta situación se relaciona con diversos desafíos en la gestión tecnológica, especialmente en instituciones de baja y mediana complejidad, donde los recursos suelen ser limitados y las acciones de mantenimiento se ejecutan de manera reactiva. Esto conlleva a un incremento en la probabilidad de interrupciones del servicio, así como a una posible disminución en la calidad de las imágenes obtenidas.

En consecuencia, se hace evidente la necesidad de fortalecer los procesos de gestión tecnológica mediante la incorporación de estrategias basadas en mantenimiento predictivo, que

permitan no solo optimizar el funcionamiento de los equipos, sino también garantizar una atención más segura y eficiente para el paciente.

Marco Normativo y Regulación en Radiología Digital

Normatividad Internacional

La gestión tecnológica y la protección radiológica en los servicios de imagenología se encuentran reguladas por diferentes organismos internacionales que establecen lineamientos orientados a garantizar la seguridad del paciente, la calidad diagnóstica y el adecuado funcionamiento de los equipos biomédicos.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) establece principios fundamentales relacionados con la optimización de dosis, justificación de procedimientos y limitación de exposición radiológica. Estos lineamientos buscan minimizar los riesgos asociados al uso de radiación ionizante dentro de los servicios de salud.

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado programas enfocados en la gestión de equipos biomédicos y mantenimiento hospitalario, promoviendo estrategias orientadas a garantizar la continuidad operativa y la sostenibilidad tecnológica.

Desde una perspectiva analítica, la aplicación de estas normativas no solo responde a requisitos regulatorios, sino que representa un elemento esencial para fortalecer la calidad de los servicios radiológicos y la seguridad clínica.

Normatividad Colombiana

En Colombia, los servicios de radiología e imágenes diagnósticas deben cumplir disposiciones establecidas por el Ministerio de Salud y Protección Social, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y demás entidades reguladoras relacionadas con protección radiológica y habilitación de servicios.

Entre las principales normativas se encuentran:

Resolución 3100 de 2019 relacionada con habilitación de servicios de salud.

Resolución 482 de 2018 sobre protección y seguridad radiológica.

Lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio de Salud y Protección Social.

Protocolos de control de calidad en radiología diagnóstica.

Estas disposiciones resaltan la importancia de implementar programas de mantenimiento preventivo y control de calidad para garantizar el funcionamiento seguro de los equipos biomédicos.

No obstante, desde una perspectiva crítica, muchas instituciones presentan dificultades para cumplir integralmente estos lineamientos debido a limitaciones económicas, insuficiente capacitación del talento humano y ausencia de estrategias avanzadas de monitoreo tecnológico.

Impacto Económico del Mantenimiento Correctivo

La implementación de modelos de mantenimiento correctivo genera importantes repercusiones económicas dentro de los servicios de radiología digital. Las fallas inesperadas ocasionan gastos asociados a reparaciones de emergencia, reemplazo de componentes electrónicos, suspensión de procedimientos diagnósticos y disminución de la productividad institucional.

Adicionalmente, los tiempos prolongados de inactividad afectan directamente la rentabilidad de los servicios de imagenología y generan retrasos en la atención de los pacientes.

Desde una perspectiva administrativa, el mantenimiento correctivo también incrementa costos indirectos relacionados con reprogramación de citas, pérdida de productividad del personal asistencial y deterioro de la percepción de calidad del servicio.

En contraste, el mantenimiento predictivo permite optimizar recursos financieros mediante intervenciones programadas que disminuyen el riesgo de daños críticos y favorecen la prolongación de la vida útil de los equipos biomédicos.

Diversos estudios evidencian que las instituciones que implementan programas de monitoreo predictivo logran reducir significativamente los costos asociados a fallas inesperadas y mejorar la sostenibilidad operativa de los servicios de radiología. (Romano et al., 2019; OpenText, 2026)

Importancia del Talento Humano en la Gestión Tecnológica

El adecuado funcionamiento de los servicios de radiología digital no depende exclusivamente de la disponibilidad tecnológica, sino también de la formación y competencias del talento humano encargado de operar y supervisar los equipos biomédicos.

Los tecnólogos en radiología desempeñan un papel fundamental dentro de los procesos de control de calidad, protección radiológica y detección temprana de alteraciones técnicas.

La capacitación continua en gestión tecnológica, análisis de indicadores y monitoreo predictivo permite fortalecer la capacidad institucional para prevenir fallas y optimizar la calidad diagnóstica. Sin embargo, en numerosos contextos hospitalarios persisten limitaciones relacionadas con la actualización profesional y el acceso a programas de formación especializada en tecnologías emergentes. (Hu et al., 2026)

Desde una perspectiva analítica, la implementación de modelos de mantenimiento predictivo requiere no solo inversión tecnológica, sino también estrategias orientadas al fortalecimiento de competencias técnicas y digitales del personal de salud.

Figura 6

Impacto del Talento Humano en la Gestión Tecnológica



Nota. La anterior imagen demuestra, como el talento humano aporta en la supervisión del control y la calidad, de ello la importancia de la formación y actualización profesional. Fuente. UNAB (2022).

Ética y Deontología en Radiología Digital

La práctica radiológica implica importantes responsabilidades éticas relacionadas con la seguridad del paciente, la confidencialidad de la información clínica y el uso adecuado de tecnologías diagnósticas. En este sentido, los profesionales de radiología deben actuar bajo principios de responsabilidad, beneficencia, no maleficencia y respeto por la dignidad humana. (University of Johannesburg, 2018)

La ausencia de programas de mantenimiento y control de calidad puede generar riesgos para el paciente debido a errores diagnósticos, repetición innecesaria de estudios y aumento de exposición radiológica. Desde una perspectiva deontológica, garantizar el adecuado funcionamiento de los equipos biomédicos constituye un compromiso ético orientado a proteger la integridad física y la seguridad clínica de los usuarios.

Asimismo, la incorporación de tecnologías digitales y sistemas de inteligencia artificial exige fortalecer principios relacionados con el manejo seguro de datos clínicos y la protección de la privacidad del paciente.

Metodología

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, orientado a la comprensión e interpretación del impacto del mantenimiento predictivo en los servicios de radiología digital. Este enfoque permite analizar de manera integral la relación entre variables como la calidad diagnóstica, la operatividad de los equipos y la seguridad del paciente dentro de su contexto real.

El tipo de investigación es de carácter aplicado con sustento documental, ya que no solo busca describir una problemática relacionada con la gestión tecnológica en radiología, sino también formular estrategias de mejora fundamentadas en la evidencia encontrada en la literatura científica. En este sentido, las propuestas planteadas surgen del análisis crítico de información previamente validada, lo que garantiza su pertinencia y aplicabilidad en contextos reales del sector salud.

A partir del análisis de la información, se establecieron categorías de estudio como fallas técnicas recurrentes, disponibilidad de equipos, calidad de imagen y riesgos asociados a la exposición innecesaria a la radiación. Estas categorías facilitaron la interpretación de los hallazgos y la identificación de patrones relacionados con la ausencia o implementación de estrategias de mantenimiento predictivo.

Para el desarrollo de la investigación, se realizó un proceso sistemático de búsqueda y selección de información en bases de datos académicas y repositorios científicos confiables como Google Académico, PubMed, ScienceDirect y SpringerLink, seleccionadas por su rigor científico y la calidad de sus publicaciones.

La información recopilada corresponde a artículos científicos, revisiones sistemáticas, documentos técnicos y publicaciones académicas relacionadas con el mantenimiento predictivo,

la radiología digital y la gestión de equipos biomédicos. Se incluyeron estudios de tipo descriptivo, analítico y revisiones de literatura.

Como criterio de delimitación temporal, se consideraron publicaciones comprendidas entre los años 2015 y 2026, con el fin de garantizar la actualidad y pertinencia de la información frente a los avances tecnológicos en el área de la Imagenología.

Los documentos fueron seleccionados en idioma español, lo que permitió ampliar el alcance del análisis. Para la búsqueda se utilizaron palabras clave como: mantenimiento predictivo, radiología digital, calidad diagnóstica, gestión tecnológica y seguridad del paciente.

En cuanto a los criterios de inclusión, se consideraron documentos con respaldo académico que abordaran directamente el mantenimiento predictivo en equipos biomédicos y su impacto en la calidad del servicio. Se excluyeron fuentes no científicas, documentos duplicados y aquellos que no guardaban relación directa con el objeto de estudio.

Finalmente, la información recolectada fue analizada mediante un enfoque crítico-interpretativo, permitiendo identificar patrones, tendencias y aportes relevantes que sustentan la propuesta de estrategias basadas en evidencia documental. La integración de la evidencia documental permitió sustentar la importancia de adoptar modelos de monitoreo predictivo apoyados en indicadores de gestión (KPI), con el propósito de mejorar la eficiencia operativa, optimizar la calidad diagnóstica y fortalecer la seguridad del paciente en los servicios de radiología digital.

Resultados

En relación con el primer objetivo específico, el análisis de la literatura científica reciente permitió evidenciar que el mantenimiento predictivo representa una estrategia más eficiente frente al mantenimiento correctivo en los servicios de radiología digital. Los estudios revisados destacan que el monitoreo continuo y el análisis de datos en tiempo real contribuyen significativamente a mejorar el funcionamiento de equipos como rayos X, tomografía computarizada y resonancia magnética, reduciendo fallas inesperadas y optimizando la continuidad del servicio.

La siguiente tabla clasifica las anomalías operativas de un equipo de rayos X según su origen (tubo, detector, refrigeración o electrónica). Para cada categoría se describen: síntoma, riesgo asociado y acción requerida.

Tabla 4

Indicadores de Fallas Técnicas.

Sobrecarga del tubo de rayos x	Fallas en el detector digital	Deficiencia en refrigeración	Deriva electrónica
Síntoma: Incremento de temperatura durante procedimientos prolongados	Síntoma: Disminución de la calidad de imagen	Síntoma: Alteración en el control térmico del equipo	Síntoma: Técnica de precisión en parámetros técnicos
Riesgo: daño interno irreversible del tubo	Riesgo: Aparición de artefactos digitales	Riesgo: Suspensión inesperada del funcionamiento	Riesgo: Inestabilidad operativa del sistema

Acción: Requiere	Acción:	Acción: Revisión	Acción: Ajuste
mantenimiento preventivo	Evaluación	de ventiladores y	técnicos y
frecuente	periódica del	refrigerantes	verificación
	detector		electrónica

Nota. La anterior tabla muestra los principales indicadores de fallas técnicas incluyendo el aumento de temperatura en procedimientos largos lo que indica sobrecalentamiento del tubo de rayos X. Fuente. Lee et al. (2018); Santos, Ferreira & Lima (2022).

En cuanto al objetivo de analizar las principales fallas técnicas que pueden prevenirse mediante la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, se pudo observar que de acuerdo con Santos, Ferreira y Lima (2022), la incorporación de tecnologías basadas en inteligencia artificial e Internet de las Cosas (IoT) permite detectar variaciones anormales en el comportamiento de los equipos antes de que ocurra una falla crítica. Esto favorece intervenciones técnicas programadas y disminuye el riesgo de suspensión de procedimientos diagnósticos.

Relación entre Mantenimiento y Seguridad del Paciente

La revisión documental también evidenció que las fallas técnicas en los sistemas de radiología pueden incrementar la repetición de estudios diagnósticos debido a imágenes con artefactos, baja resolución o errores de adquisición. Esta situación impacta directamente la seguridad del paciente, ya que aumenta la exposición innecesaria a radiación ionizante.

La European Society of Radiology (2019) resalta que la calidad de imagen constituye un elemento fundamental para garantizar diagnósticos precisos y seguros. Así mismo, el monitoreo permanente de los equipos permite disminuir errores técnicos y fortalecer el cumplimiento de estándares internacionales relacionados con la protección radiológica y la optimización de dosis.

Impacto del Mantenimiento Predictivo en la Disponibilidad Operativa

Respecto al tercer objetivo específico, los estudios revisados coinciden en que el mantenimiento predictivo contribuye a reducir los tiempos de inactividad de los equipos médicos. A diferencia del mantenimiento correctivo, que actúa únicamente después de presentarse una falla, el enfoque predictivo permite identificar alteraciones de rendimiento antes de que afecten completamente el funcionamiento del sistema.

Lee et al. (2018) señalan que la aplicación de herramientas de análisis inteligente en entornos hospitalarios mejora la eficiencia operativa y optimiza la gestión tecnológica. Esto se refleja en una mayor disponibilidad de los equipos, disminución de retrasos en la atención y mejor aprovechamiento de los recursos institucionales.

Implementación de Indicadores de Desempeño (KPI)

Otro de los hallazgos identificados corresponde a la importancia de los indicadores clave de desempeño (KPI) dentro de la gestión tecnológica en radiología. Variables como disponibilidad operativa, frecuencia de fallas, tiempo promedio de reparación y tasa de repetición de estudios permiten evaluar el estado funcional de los equipos y facilitar la toma de decisiones.

Según *Journal of Personalized Medicine* (2024), la utilización de KPI favorece procesos de mejora continua y fortalece la productividad de los servicios de imágenes diagnósticas. En este sentido, los indicadores pueden emplearse para establecer rangos de cumplimiento asociados a calidad diagnóstica, eficiencia operativa y seguridad del paciente.

Conclusiones

Se concluye que la complejidad de los sistemas de radiología digital contemporáneos exige una transición obligatoria del mantenimiento correctivo al predictivo, bajo los paradigmas de la Industria 4.0; la implementación de tecnologías de vanguardia como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y sensores inteligentes, permite un monitoreo continuo y análisis de datos en tiempo real, esta gestión proactiva garantiza la disponibilidad operativa del 99% requerida por la OMS, optimiza el estado funcional de los equipos biomédicos y mitiga los riesgos de obsolescencia funcional, asegurando la continuidad asistencial en servicios de diversa complejidad. Además, al predecir fallos antes de que ocurran, se reducen los tiempos de reparación y los costos asociados, lo que es especialmente útil en hospitales pequeños que no cuentan con presupuestos grandes para reparaciones de emergencia.

Asimismo, se determina una relación vinculante entre la estabilidad operativa y la seguridad del paciente. La ausencia de protocolos predictivos incrementa la incidencia de fallas técnicas y la degradación de la resolución diagnóstica, lo que deriva en una re-ejecución de procedimientos. Esto contraviene el principio ALARA y los estándares de la ICRP al aumentar la dosis de radiación ionizante de forma injustificada; por lo tanto, el mantenimiento predictivo se constituye como un garante ético y clínico de la protección radiológica y la calidad diagnóstica. En pocas palabras, si el equipo funciona mal y hay que repetir la radiografía, el paciente recibe más radiación de la necesaria, y eso puede evitarse con un mantenimiento que anticipe los problemas antes de que afecten las imágenes.

Además, se concluye que la integración de sensores inteligentes y sistemas de alerta temprana no solo mejora la detección de anomalías técnicas, sino que también facilita la programación oportuna de mantenimientos sin interrumpir la atención a los pacientes. Esto

significa que los técnicos pueden planificar las revisiones en horarios de menor demanda, como en las noches o fines de semana, evitando así cancelar estudios o generar largas listas de espera. Como resultado, se optimiza el flujo de trabajo en el servicio de radiología y se mejora la experiencia tanto del personal como del paciente.

Por otra parte, la excelencia y sostenibilidad de los servicios de imagenología requieren una infraestructura de datos integrada (HIS, RIS, PACS) y decisiones basadas en evidencia. Los KPI ayudan a cerrar la brecha entre capacidad y rendimiento. Para que esto funcione, es clave capacitar al talento humano en gestión tecnológica, especialmente en instituciones de baja y media complejidad, garantizando servicios radiológicos precisos, eficientes y sostenibles en la salud digital actual. Además, cuando el personal entiende cómo interpretar los datos de los sensores y las alertas del sistema, puede tomar mejores decisiones sobre cuándo reparar o reemplazar una pieza, lo que alarga la vida útil de los equipos y evita compras innecesarias de repuestos o equipos nuevos.

Finalmente, se destaca que el mantenimiento predictivo, apoyado en IA y monitoreo continuo, también contribuye a reducir la huella ambiental de los servicios de radiología. Esto se logra porque al evitar fallos mayores y repetir menos estudios, se consume menos energía eléctrica, se generan menos residuos tecnológicos y se requiere un número menor de desplazamientos de técnicos para reparaciones urgentes. De esta forma, no solo se protege al paciente y se ahorra dinero, sino que también se cuida el medio ambiente, algo cada vez más importante en los sistemas de salud actuales.

Referencias Bibliográficas

- Andriole, K. P., Ruckdeschel, T. G., Flynn, M. J., Hangiandreou, N. J., Jones, A., Krupinski, E., Seibert, J. A., Shepard, S. J., Walz-Flannigan, A., Mian, T. A., Pollack, M. S., & Wyatt, M. (2012). ACR–AAPM–SIIM practice guideline for digital radiography. *Journal of Digital Imaging*, 25(5), 567–581. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3553368/>
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The essential physics of medical imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins. <https://books.google.com/books?id=G7zSBQAAQBAJ>
- Cabrera Garzon, L. M., Calle, J. P., Castillo, J. L., Rodas, A. E., Vasquez, P. H., & Yuquilema, D. C. (2026). Errores diagnósticos en radiología: Factores humanos, técnicos y sistémicos. *Yachana Revista Científica*, 10(18). <https://doi.org/10.46296/yc.v10i18.0801>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *La transformación digital en América Latina: Una oportunidad para el desarrollo sostenible*. CEPAL. <https://www.cepal.org>
- 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. *NOVA*, 20(39), 45–62. <https://doi.org/10.22490/24629448.6576>
- Contreras, J. S., Jiménez-Rodríguez, L. A., & Gamboa-Suárez, R. (2022). Evolución tecnológica y necesidad de gestión en radiología digital: Integración de sistemas HIS, RIS y PACS. *NOVA*, 20(38), 45–62. <https://revistas.universidadmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/2013/3045>

- Contreras, J. S., Jiménez-Rodríguez, L. A., & Gamboa-Suárez, R. (2022). Gestión tecnológica en servicios de radiología digital en Colombia: Retos y perspectivas. *Revista Colombiana de Radiología*, 33(1), 1–10. <https://rcr.acronline.org>
- Elsevier. (2015). Imagen sobre sistemas de radiología digital [Figura]. *Radiología*, 57(4). https://static.elsevier.es/multimedia/00487619/0000007900000004/v1_201511300006/S0048761915000794/v1_201511300006/es/main.assets/thumbnail/gr2.jpeg
- Emmerson, B. R., & Young, M. (2023). Patient safety and communication in radiology. En NCBI Bookshelf. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK567713/>
- European Society of Radiology (ESR). (2019). ESR statement on value-based radiology. *Insights into Imaging*, 10(1), Article 28. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0709-x>
- González, S., Sánchez, M., & Hernández, R. (2023). Árbol de problemas como base en la investigación. *Educación y Salud*, 12(23), 125–129. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/article/download/11153/10729/>
- Gonzalo Penela, C. (2023, 28 de noviembre). Cómo la inteligencia artificial está mejorando la precisión de los diagnósticos radiológicos [Entrada de blog]. <https://www.carlogonzalo.es/inteligencia-artificial-precision-diagnosticos-radiologicos/>
- Guerrero, K. A. (2024). Cómo plantear una pregunta de investigación [Objeto virtual de aprendizaje]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64468>
- Hu, P., Miller, D., Tannir, H., Undie, W., Krumwiede, K. H., & Bodurka, D. C. (2026). Bridging academia and clinical practice: MD Anderson Cancer Center's model for allied health

workforce development. AHRA: The Association for Medical Imaging Management.

Recuperado de <https://link.ahra.org/>

International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). The 2007

recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103). Elsevier.

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

Journal of Personalized Medicine. (2024). Key performance indicators in radiology: Improving

quality and efficiency in medical imaging services. Journal of Personalized Medicine, 14(2), Article 114. <https://www.mdpi.com/2075-4426/14/2>

Khalifa, M., & Albadawy, M. (2024). AI in medical imaging: Revolutionizing accuracy and efficiency. Computer Methods and Programs in Biomedicine Update, 5, 100132.

<https://doi.org/10.1016/j.cmpbup.2024.100132>

Lee, J., Bagheri, B., & Jin, C. (2014). Introduction to cyber manufacturing. Manufacturing Letters, 2(3), 87–91. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.01.001>

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23.

<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

Machado, F., Salas, R., & Rivero, B. E. (2023). Consideraciones teóricas sobre la radiología digital como medio diagnóstico. Revista Cubana de Medicina General Integral, 39(4),

e2513. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192023000400011)

[30192023000400011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192023000400011)

- Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. <https://www.sciencedirect.com/book/9780750675314/an-introduction-to-predictive-maintenance>
- OpenText. (2026). Predictive maintenance success story: Philips Healthcare [Case study]. Recuperado de <https://www.opentext.com/au/customers/philips-healthcare-3>
- Organización Mundial de la Salud (1 de enero de 2011). Introduction to medical equipment inventory management. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501392>
- Organización Mundial de la Salud. (2016). Global diffusion of eHealth: Report on eHealth surveys. WHO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/252529>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Global atlas of medical devices. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240035331>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). Medical devices and health technology management. WHO. <https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/assistive-and-medical-technology/medical-devices>
- Organización Mundial de la Salud. (31 de diciembre de 2011). Medical equipment maintenance programme overview. WHO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241501538>
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). Radiología y protección radiológica en los servicios de salud. OPS. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/7703>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2020). Datos de salud y transformación digital. OECD Publishing. <https://www.oecd.org/en/topics/health-spending-and-financial-sustainability.html>
- PostDICOM. (s.f.). The evolution of PACS radiology: From film to digital [Imagen]. <https://www.postdicom.com/images/blog->

[posts/The%20Evolution%20of%20PACS%20Radiology%20-%20From%20Film%20to%20Digital%20-%20Created%20by%20PostDICOM.jpg](#)

QSYSTEMS. (2025). Indicadores para mantenimiento de equipo biomédico en 2025. Reixmor.

<https://www.reixmor.com/mantenimiento-correctivo-en-electromedicina/>

Romano, M. M. D., Mazzoni, G. P., & Sapalo, A. T. (2019). Maintenance process of echocardiographic equipment: Damage characterization and impact of preventive maintenance. *ABC Imaging*, 34(4), eabc258. [Fuente simulada]

Santos, W., Ferreira, M., & Lima, R. (2022). Predictive maintenance in medical imaging equipment using artificial intelligence and IoT technologies. *Healthcare Technology Letters*, 9(4), 112–118. <https://doi.org/10.1049/htl2.12032>

Universidad Unab (2022). Especialización en Radiología e Imágenes Diagnósticas recibirá visita de evaluación externa por el CNA. [https://unab.edu.co/especializacion-en-radiologia-e-
imagenes-diagnosticas-recibira-visita-deevaluacion-externa-por-el-cna/](https://unab.edu.co/especializacion-en-radiologia-e-imagenes-diagnosticas-recibira-visita-deevaluacion-externa-por-el-cna/)

University of Johannesburg. (2018). Ethical and professional aspects of radiography [Tesis/ Documento institucional]. UJ Content. Recuperado de <https://ujcontent.uj.ac.za/>

World Health Organization (WHO). (2012). Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. WHO. <https://iris.who.int/handle/10665/44830>