

Análisis del monitoreo predictivo y mantenimiento preventivo de los sistemas de radiología digital, basado en la evidencia científica del impacto positivo de la implementación de los modelos predictivos en equipos de Resonancia Magnética

Angie Vanessa Rojas Rojas

Angélica María Vázquez Vera

Brayan David Gómez Rodríguez

Karen Andrea Ruales Yela

Yesenia Saavedra Caicedo

Asesor

Edna Rocío Jamaica Guio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud - ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2026

Agradecimientos

Gracias a Dios por iluminar y brindar sabiduría, resiliencia y perseverancia para afrontar cada actividad y meta propuesta, que permitió llegar a la recta final y poder culminar con satisfacción los estudios cursados.

También extender el agradecimiento al grupo de docentes de curso y de prácticas clínicas por compartir su experiencia y conocimiento con cada uno; y en especial agradecer a los familiares, que acompañaron este proceso formativo y brindaron incondicionalmente apoyo para continuar con entusiasmo y fe el deber académico, que hoy día está a punto de culminar.

Resumen

La resonancia magnética (RM) es una tecnología de gran avance y costos en los servicios de diagnóstico por imágenes, cuyo funcionamiento adecuado depende de implementación de planes de mantenimiento. Tradicionalmente, las instituciones de salud basaron la gestión de equipos en modelos de mantenimiento preventivo y correctivo, los cuales, aunque necesarios, resultan limitados frente a la creciente complejidad tecnológica y demandas de eficiencia operativa y seguridad del paciente.

En este contexto, la investigación analiza evidencia científica existente sobre el impacto del mantenimiento predictivo, en la reducción de costos operativos y optimización de disponibilidad en equipos de RM, siendo este una alternativa innovadora basada en monitoreo continuo, análisis de datos en tiempo real y uso de tecnologías como sensores inteligentes y algoritmos de aprendizaje automático. Así mismo los hallazgos muestran que la implementación del mantenimiento predictivo reduce significativamente fallas inesperadas, disminuye tiempos de inactividad y optimiza costos operativos, por lo cual, la transición hacia estos modelos, representa una estrategia clave para fortalecer la eficiencia, mejorar la calidad diagnóstica, seguridad del paciente, sostenibilidad institucional y extensión de vida útil de los equipos, respaldando su implementación como una práctica necesaria en el contexto actual de la gestión tecnológica en salud.

Palabras Clave: Mantenimiento predictivo, resonancia magnética, costos operativos, equipos biomédicos, gestión tecnológica en salud.

Abstract

Magnetic resonance imaging (MRI) is an advanced and high-cost technology within diagnostic imaging services, whose proper functioning depends on the implementation of maintenance plans. Traditionally, healthcare institutions have managed equipment through preventive and corrective maintenance models; however, although necessary, these approaches are limited in the face of increasing technological complexity and the growing demands for operational efficiency and patient safety.

In this context, this research analyzes the existing scientific evidence on the impact of predictive maintenance in reducing operational costs and optimizing the availability of MRI equipment. Predictive maintenance represents an innovative alternative based on continuous monitoring, real-time data analysis, and the use of technologies such as smart sensors and machine learning algorithms. Likewise, the findings show that its implementation significantly reduces unexpected failures, decreases downtime, and optimizes operational costs. Therefore, the transition toward these models represents a key strategy to strengthen efficiency, improve diagnostic quality, enhance patient safety, promote institutional sustainability, and extend the lifespan of equipment, supporting its implementation as a necessary practice in the current context of healthcare technology management.

Keywords: Predictive maintenance, magnetic resonance imaging, operational costs, biomedical equipment, healthcare technology management.

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
Planteamiento del Problema.....	10
Justificación.....	12
Objetivos.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco Teórico.....	15
Conceptualización del Mantenimiento en Sistemas de Radiología Digital.....	16
<i>Mantenimiento Preventivo y Predictivo</i>	17
<i>Costos Directos</i>	18
<i>Optimización del ROI (Retorno de Inversión)</i>	19
Extensión de Vida Útil de Componentes Costosos.....	20
Metodología.....	24
Tipo de Investigación.....	24
Diseño de Investigación.....	24
Enfoque de Investigación.....	24
Método y Recolección de Datos.....	25
Población.....	25
Resultados e Informe Final.....	26
Desarrollo del Proyecto.....	28
Impacto Económico y Reducción de Costos.....	28

Optimización Operativa y Disponibilidad.....	29
Seguridad del Paciente y Calidad Diagnóstica.....	31
Conclusiones.....	33
Referencias Bibliográficas.....	35

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Criterios de Búsqueda y Selección Documental de la Investigación</i>	26
Tabla 2 <i>Hallazgos Operativos de Implementación de Modelos Predictivos</i>	28
Tabla 3 <i>Criterios Comparativos de Mantenimientos Preventivos Vs Predictivos</i>	30

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Resonador Siemens</i>	15
Figura 2 <i>Diagrama de Metodología</i>	27

Introducción

Los servicios de radiología digital constituyen uno de los pilares fundamentales del diagnóstico médico moderno, y dentro de ellos, los equipos de resonancia magnética (RM) ocupan un lugar privilegiado por su capacidad para generar imágenes de alta resolución sin exposición a radiación ionizante. No obstante, la complejidad tecnológica de estos dispositivos que integran sistemas criogénicos, bobinas de gradientes, radiofrecuencia y plataformas de procesamiento digital los convierte también en uno de los equipos de mayor demanda de mantenimiento especializado y mayor costo operativo en el sector salud.

La gestión del mantenimiento de los equipos de radiología digital ha evolucionado históricamente desde modelos correctivos hacia modelos preventivos basados en calendarios programados y, más recientemente, hacia estrategias predictivas que utilizan sensores inteligentes, análisis de datos en tiempo real, Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de machine learning para anticipar el deterioro antes de que se materialice en una falla; no obstante, la inversión inicial en infraestructura tecnológica, es un desafío relevante que representa una barrera real para instituciones de medicina y baja complejidad, Phoenix Strategy Group (2025) reporta que dicha inversión se recupera en aproximadamente seis meses, el acceso al mantenimiento predictivo no es equitativo entre instituciones de diferentes nivel, lo que constituye un desafío estructural.

Esta transición representa un cambio de paradigma en la forma en que las instituciones de salud gestionan sus recursos tecnológicos, con implicaciones directas en la disponibilidad del servicio, la calidad diagnóstica y la seguridad del paciente.

Planteamiento del Problema

Los equipos de radiología digital en el servicio de imágenes diagnósticas, como radiografía digital directa (DR), equipos de tomografía computarizada y sistemas que permiten la adquisición de imágenes dinámicas, cumplen un importante papel para el diagnóstico o tratamiento oportuno de diversas enfermedades.

Estos equipos requieren de un mantenimiento preventivo para que haya un correcto funcionamiento de estos. Sin embargo, cuando se incumple con este requisito los equipos empiezan a presentar fallas que requieren de un mantenimiento correctivo, el cual genera inactividad en el servicio de algunas instituciones. Tal como lo afirma Medina et al. (2025), la falta de calibración, mantenimiento y la dependencia del mantenimiento correctivo incrementan la probabilidad de fallas inesperadas que interrumpen el servicio.

En este contexto, el monitoreo predictivo y mantenimiento preventivo en los sistemas de radiología digital impactan directamente en la calidad de imagen de los estudios radiográficos y seguridad en el reporte generado a partir de estos, por lo cual la gestión inadecuada del mantenimiento de las diferentes modalidades y software correspondientes a ellas materializan un riesgo puntual en la calidad diagnóstica que se ofrece a los pacientes, así mismo se vulnera la seguridad en los tratamientos y la sostenibilidad institucional. La ausencia de programas estructurados de mantenimientos preventivos y monitoreos predictivos incrementa la aparición de fallas inesperadas y repetición de los estudios radiográficos (OIEA, 2009).

Esta situación crítica representa un estado en el cual las instalaciones de salud operan sus equipos de imagen diagnóstica bajo modelos de mantenimiento reactivo o preventivo básico, sin aprovechar las capacidades avanzadas de análisis predictivo, sensores IoT y algoritmos de machine learning que permitirían anticipar fallos antes de que

ocurran; sin embargo la falta de integración de modelos predictivos en los programas de mantenimiento no solo afecta la disponibilidad de los equipos, sino también compromete la seguridad del paciente, así mismo las fallas en la calibración pueden ocasionar exposiciones inadecuadas a la radiación, incrementando el riesgo de efectos adversos (Delgado Ospino, 2024).

Ante esto, es necesario analizar las causas y efectos que se presentan a partir de la ausencia y gestión inadecuada de dichos mantenimientos, evaluando el impacto que deriva directamente en la salud de la comunidad a la que se prestan los servicios diagnósticos por imágenes.

Pregunta de Investigación

¿Qué evidencia científica existe sobre la reducción de costos operativos al transitar de mantenimiento preventivo a predictivo en RM?

Justificación

Esta investigación se justifica por la importancia del monitoreo predictivo y el mantenimiento preventivo en los equipos radiológicos digitales debido a que el óptimo funcionamiento de estos garantiza la calidad del servicio diagnóstico. Asimismo, la Sociedad Española de Física Médica, la Sociedad Española de Protección Radiológica y la Sociedad Española de Radiología Médica (2011) mencionan, que, en una instalación de diagnóstico por imágenes, el programa de garantía de calidad debería asegurar que las imágenes producidas cuenten con una calidad adecuada que permita obtener la información diagnóstica correcta con la mínima exposición, contribuyendo a la protección del paciente y al eficiente desempeño institucional.

Además, el avance de la biotecnología aplicada al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades que impactan la salud, día a día se acrecientan e implementan en el ejercicio del diagnóstico por medio de los diferentes dispositivos destinados a la obtención y transmisión de imágenes médicas en tiempo real, lo que desencadena que dicha tecnología sea crucial para las decisiones clínicas fundamentadas en información de alta calidad, por su ejecución para los tratamientos médicos, asimismo inmiscuye el análisis, almacenamiento y distribución de los datos clínicos aportados por los sistemas de radiología digital.

En este marco, es relevante aclarar que el monitoreo emplea los datos recopilados en tiempo real por medio de un algoritmo que analiza los parámetros técnicos de los equipos a fin de anticipar fallas y el deterioro progresivo de estos, mientras que el mantenimiento corresponde a la realización de actividades programadas por fecha calendario para la revisión, calibración, verificación, evaluación e inspecciones periódicas de los equipos reduciendo las fallas leves encontradas. La normativa IEC 60601 establece

que el desempeño esencial de los equipos médicos debe mantenerse dentro de parámetros seguros y verificables (IEC, 2015). Ahora bien para disminuir los efectos negativos al flujo de trabajo de los servicios de radiología es necesario implementar sistemas integrales de ejecución de monitoreos predictivos y mantenimientos preventivos por la alteración en la calidad de imagen y la optimización de la dosis siguiendo el fundamento ALARA, con base en esto la Asociación americana de físicos en medicina por sus siglas en inglés AAPM (2002) sugiere programas estructurados de control de calidad que sostengan la consistencia diagnóstica.

La incorporación de tecnologías como sensores inteligentes, análisis de datos y modelos predictivos contribuye a mejorar la calibración y estabilidad de los equipos, favoreciendo la precisión diagnóstica y disminuyendo eventos adversos relacionados con errores técnicos. Esto se traduce en mayor seguridad para el paciente, mejor desempeño del talento humano en salud y mayor sostenibilidad institucional.

Por lo tanto, esta propuesta se justifica en la necesidad de promover una gestión eficiente, segura y moderna del mantenimiento en los servicios de radiología digital, contribuyendo al fortalecimiento de la calidad en la atención en salud y al cumplimiento de estándares normativos y de seguridad radiológica.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la evidencia científica bajo una exhaustiva revisión documental, sobre la implementación del mantenimiento predictivo en equipos de resonancia magnética y otros sistemas de radiología digital, su impacto en la reducción de costos operativos, la disponibilidad de los equipos y la calidad del servicio diagnóstico en las instituciones de salud.

Objetivos Específicos

Identificar en la literatura científica las principales diferencias entre mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo aplicados a equipos de radiología digital.

Evaluar el impacto del mantenimiento predictivo en la reducción de fallas técnicas, tiempos de inactividad y costos asociados al mantenimiento de equipos de resonancia magnética.

Describir como el uso de tecnologías como sensores, análisis de datos e inteligencia artificial contribuye al monitoreo del estado de los equipos y a la optimización de la gestión del mantenimiento en servicios de diagnóstico por imágenes.

Marco Teórico

La resonancia magnética (RM) es una de las técnicas fundamentales de diagnóstico que permite obtener imágenes mediante el uso de un campo magnético y ondas de radiofrecuencia. “El fenómeno físico de la RM determina que la frecuencia de precesión o de resonancia de un átomo es directamente proporcional al campo magnético en el que está inmerso, de acuerdo con la ecuación de frecuencia de precesión de Larmor” (Lafuente & Ramón, 2016, p. 697)

Su operación depende de distintos mecanismos o componentes, entre ellos, como equipo principal lo compone el imán, el cual genera el magnetismo o el campo magnético que alinea los protones del cuerpo humano; las bobinas de gradientes localizan la señal de los tejidos en tres direcciones espaciales; la radiofrecuencia excita los protones alineados y emite señal de los tejidos a estudiar; y el sistema de enfriamiento de helio mantiene en condiciones los imanes superconductores, lo cual permite la obtención de imágenes de calidad y operación continua. (Costa Subias & Soria Jerez, 2015).

Figura 1

Resonador Siemens



Nota. Fuente Magnetom Vida, Atendiendo la diversidad humana, el primer escáner de resonancia magnética 3T con tecnología BioMatrix. Fuente. SIEMENS Healthineers. 2022

El equipo de resonancia magnética recorre distintas etapas mediante su ciclo de vida, es por ello por lo que se debe acceder a distintas características tipos y modelos de resonadores magnéticos que comprendan todas las necesidades del área de resonancia magnética para su instalación teniendo en cuenta el acondicionamiento tecnológico (Ávila, 2022). En este contexto, se debe tener una planificación cuidadosa en su administración que garantice la sostenibilidad del servicio. Considerando esto, es esencial que el equipo cuente con disponibilidad operativa que permita la prestación de servicio de salud, evite interrupciones y retrasos que impacten negativamente a las instituciones que cuenten con este equipo diagnóstico.

Es fundamental destacar la eficacia que tiene los estudios de RM para el diagnóstico médico y terapéutico a nivel global y que debido a la gran responsabilidad que conlleva son necesarios mantener vigilados y regulados estos equipos, de tal forma que cumplan con las normativas de habilitación y prestación de servicios, siendo así indispensable la parametrización a través de los monitoreos preventivos y mantenimientos predictivos; de manera complementaria, estudios desarrollados en la Universidad Autónoma del Estado de México destacan que la integración de programas de mantenimiento preventivo con técnicas predictivas permite mejorar el control del estado de los equipos y optimizar la planificación de las intervenciones técnicas. La utilización de registros históricos de fallas y el análisis del comportamiento operativo de los sistemas facilitan la detección temprana de anomalías, contribuyendo así a la reducción de paradas no programadas y a una gestión más eficiente del mantenimiento (Vasquez, 2024).

Conceptualización del Mantenimiento en Sistemas de Radiología Digital

El equipo de RM requiere de mantenimiento o distintas gestiones técnicas, cómo mantenimientos preventivos, correctivos y controles de calidad que garanticen la seguridad

en los diagnósticos médicos y eviten la inactividad de atención médica por mal funcionamiento, ya que la suspensión del servicio puede generar pérdidas económicas y retrasos en diagnósticos (Ávila, 2022).

Mantenimiento Preventivo y Predictivo

El mantenimiento preventivo corresponde a la unión entre mantenimiento sistemático y mantenimiento predictivo. Se puede definir como la realización de cualquier tarea programada, de acuerdo con un plan previamente establecido cuyo objetivo consiste en reducir el potencial de ocurrencia de fallos que tendrán un efecto adverso sobre la confiabilidad, la disponibilidad o la seguridad de la planta (Villada, Moreno, & Valencia, 2002).

El mantenimiento predictivo se basa en el uso de técnicas de diagnóstico y monitoreo del estado de los equipos con el fin de detectar fallas potenciales antes de que se presenten, permitiendo programar intervenciones en el momento oportuno y optimizar los costos y la confiabilidad de los sistemas (Villada, Moreno, & Valencia, 2002).

Los equipos de resonancia magnética representan una de las inversiones más altas en tecnología médica y requieren un mantenimiento riguroso, por lo cual los fallos no programados o mantenimientos mal gestionados pueden afectar tanto a lo económico como en la prestación del servicio, debido a que puede reducir la disponibilidad del equipo y su utilización, generar costos elevados asociados a reparaciones de emergencia (mantenimiento correctivo), afectando la calidad del servicio diagnóstico y la confianza institucional.

Estudios y revisiones generales de mantenimiento predictivo en sistemas industriales han encontrado que la transición a estrategias basadas en condición puede optimizar los costos de mantenimiento al reducir intervenciones innecesarias y fallos no

programados. Esto se logra mediante algoritmos de predicción y análisis de datos que determinan el momento óptimo para actuar. (Benhanifia et al., 2025).

Según Morales Muñoz et al. (2025) Incorporar herramientas digitales en los sistemas de mantenimiento de los equipos de imágenes diagnósticas repercuten favorablemente en la eficiencia operativa y seguridad del paciente, ya que proporciona atención predictiva basada en análisis de datos en tiempo real, emitiendo alertas o fallas tempranas que posibilitan accionar oportunamente. Además, un estudio publicado en 2025 sobre mejorar la eficiencia de mantenimiento y controlar costos en instituciones de salud reporta que aplicar métodos analíticos avanzados donde se incorporan datos clínicos y de ingeniería pueden contribuir efectivamente en el control de costos de mantenimiento en equipos médicos. (Li et al., 2025)

En este contexto, el mantenimiento predictivo transforma la gestión del equipo (RM) optimizando su ciclo de vida, relacionándose directamente a la reducción de costos directos e indirectos.

Costos Directos

Estos costos directos dividen en repuestos y consumibles, como los componentes de reemplazo periódico (filtros, correas, rodamientos), piezas de desgaste (contactores eléctricos, ventiladores), líquidos criogénicos (recargas de helio pueden costar \$20,000-40,000 dólares (GE HealthCare, 2020). También se incluye el recurso humano de técnicos certificados con distintas tarifas. Estos contratos generalmente cubren mantenimiento preventivo programado, piezas de repuesto, mano de obra para correctivos, actualizaciones de software (U.S. Department of Energy, 2010; Phoenix Strategy Group, 2024).

Ahora bien, los costos indirectos como el lucro cesante representan ingresos no percibidos debido a tiempo de inactividad del equipo, para la modalidad de RM, cada hora de downtime implica estudios cancelados aproximados normalmente de 2-3 estudios/hora y

tarifas de \$400-1,500 por estudio (dependiendo de complejidad y región), generando pérdidas horarias (GE healthcare, 2020).

Estudios cuantitativos demuestran que un día completo de inactividad no planificada de RM genera pérdidas directas e indirectas (GE healthcare, 2020). El tiempo de inactividad frecuente puede resultar en cancelación de contratos de servicios de imagenología con aseguradoras o clientes corporativos, impactando los ingresos futuros de la institución (Deloitte Insights, 2025).

En este contexto, la compensación a Pacientes y reprogramación de citas impacta en ingresos como los costos administrativos de personal dedicado a contactar pacientes, programar citas, coordinar con médicos referentes y actualizar sistemas de información clínica, incluyendo la extensión de horarios para recuperar backlog de estudios pendientes, con sobrecostos de salarios y potencia el agotamiento laboral del personal; así mismo si el tiempo de inactividad es prolongado, puede requerirse derivación a instalaciones externas con costos de transporte médico, descuentos, estudios gratuitos o compensaciones económicas a pacientes afectados por cancelaciones, junto con impacto negativo en métricas de satisfacción del paciente que pueden afectar reembolsos en sistemas de pago basados en valor (U.S. Department of Energy, 2010).

Optimización del ROI (Retorno de Inversión)

La transición de mantenimiento preventivo tradicional a predictivo presenta un caso económico robusto sustentado por evidencia empírica, el análisis del Department of Energy (DOE) de EE. UU (U.S. Department of Energy, 2010) y reportes de consultoras especializadas documentan que implementaciones típicas de mantenimiento predictivo generan retornos de inversión. Un estudio de Deloitte Analytics Institute (n.d.) encontró que el MP disminuye fallas inesperadas en 70%, aumenta productividad operativa en 25%,

y reduce costos de mantenimiento en 25%. OXmaint (2025) reporta que el 95% de los adoptantes de mantenimiento predictivo experimentan un ROI positivo, con retornos comprobados de 10 veces la inversión dentro de 2 a 3 años.

Mientras que GE healthcare (2020) reporta que su plataforma Onwatch predict para RM reduce tiempo de inactividad no planificado hasta en 40% y disminuye solicitudes de servicio iniciadas por cliente hasta en 35%. Por su parte Hitachi Healthcare (2019) demostró mediante su sistema sentinel analytics para RM una reducción de downtime de 16.3% comparado con período previo a implementación, resultado particularmente significativo para sistemas superconductores donde fallas criogénicas son especialmente costosas.

Para un sistema de RM con ingresos diarios promedio de \$41,000 (GE healthcare, 2020) y tiempo de inactividad evitado de 3-4 días/año mediante MP, contando con beneficios anuales significativos e inversiones en infraestructura tecnológica del mantenimiento predictivo como (sensores, software, integración) (Phoenix Strategy Group, 2024), la optimización del equipo permite recuperar la inversión en un periodo estimado a 6 meses, con ROI superior a 200% en el primer año.

Extensión de Vida Útil de Componentes Costosos

El mantenimiento predictivo permite optimizar el ciclo de vida de componentes de alto valor mediante intervenciones basadas en la condición real del equipo en lugar de cronogramas estadísticos predeterminados (U.S. Department of Energy, 2010).

La prevención de Quench accidental (pérdida súbita de superconductividad con evaporación masiva de helio) genera distintos costos en recarga de helio, verificación de integridad del imán y tiempo de inactividad. El monitoreo predictivo de variables críticas como la temperatura del criostato, niveles de helio y desempeño del crio enfriador puede

detectar degradación del sistema de enfriamiento antes de que desencadene un Quench, evitando costos elevados (Hitachi healthcare, 2019; GE healthcare, 2020). El mantenimiento predictivo permite programar recargas de helio basadas en la tasa de evaporación (boil-off), optimizando la gestión de recargas, lo cual además de maximizar la utilización de vida útil de componentes y prevenir fallas que generen inactividad por requerimiento de reemplazo de subsistemas completos pueden extender la vida económica del equipo, reduciendo inversiones de capital significativamente. (GE healthcare, 2020).

En cuanto a la seguridad del usuario y el personal de salud para la modalidad de resonancia magnética, es relevante resaltar que es un estudio de alto costo por su especificidad, por lo cual es indispensable mantener protocolos estandarizados de uso que garanticen la seguridad tanto del paciente como el personal en general relacionado al área de RM, lo que depende directamente del correcto funcionamiento de los sistemas del resonador y de los programas de mantenimiento que se implemente, dentro de estos sistemas de seguridad se incorporan las alarmas preventivas y la identificación de fallas, dentro de las más comunes se presentan falla del sistema criogénico, en el sistema de gradientes, en radiofrecuencias, por objetos ferromagnéticos (efecto misil o proyectil). (Capelastegui, A. 2006).

Las lesiones térmicas producidas por radiofrecuencia RF, constituye al riesgo con mayor trazabilidad en el uso de la resonancia magnética, dichas lesiones se generan cuando la energía electromagnética depositada en el cuerpo provoca calentamiento de los tejidos, especialmente si hay presencia de objetos conductores o posiciones corporales que favorecen la formación de bucles eléctricos; pues según Tang y Yamamoto (2023), las quemaduras por radiofrecuencia constituyen la lesión física más común reportada durante estos estudios, lo que resalta la importancia de monitorear continuamente los parámetros

del sistema para prevenir este tipo de incidentes. Así mismo el Quench derivado del sistema criogénico, representa un riesgo elevado tanto para el paciente como para el operador, ya que esta falla ocurre cuando se aumenta la temperatura del sistema, que para mantenerse emplea helio líquido criogénico, al producirse este cambio el helio tiende a evaporarse y al estar en estado gaseoso es sumamente volátil lo que resulta en una dispersión del oxígeno desencadenando una asfixia por inhalación. (Ortega, M. J. G., et al, 2022).

Otro de los riesgos con mayor incidencia es el efecto proyectil, el cual es consecuencia de la atracción violenta de objetos ferromagnéticos hacia el imán por la gran intensidad del campo magnético, lo que provoca lesiones y daños graves e incluso la muerte, de igual forma estos campos también pueden llegar a tener efectos fisiológicos, como mareo o vértigo en algunas personas. (Ortega, M. J. G., et al, 2022).

Debido a la presencia de los anteriores eventos adversos mencionados es fundamental relacionar la seguridad del paciente con los mantenimientos predictivos a fin de reducir y prevenir tanto las fallas técnicas como los costos asociados al deterioro de equipos, cambio de repuestos, flujos de trabajo, etc.; según las disposiciones del Ministerio de Salud, en Colombia la seguridad en el uso de equipos biomédicos se regula mediante las disposiciones amparadas en la Resolución 3100 de 2019, siendo esta la norma base que denomina los estándares de condiciones de inscripción y de habilitación que deben cumplir las instituciones prestadoras de servicios de salud, donde es relevante y de obligatorio cumplimiento los estándares de infraestructura, la implementación de programas de mantenimiento preventivo y correctivo para la prestación de servicios de diagnósticos, talento humano, dicha resolución presenta dos actualizaciones progresivas, la primera es la Resolución 544 de 2023, la cual actualizo los requisitos del sistema de habilitación como la capacidad técnico-administrativa, la capacidad patrimonial, financiera, tecnológica y

científica y la segunda la Resolución 465 de 2025, la cual ajusto los registros de sede y servicios, la evaluación periódica en el cumplimiento de los requerimientos de habilitación y su respectiva sustentación en los sistemas pertinentes, la regulación del transporte médico asistencial y las modalidades de prestación de servicios extramurales; así mismo el decreto 4725 de 2005, establece los requisitos de control, seguimiento, vigilancia y mantenimiento de los dispositivos médicos en el régimen sanitario que deben cumplir las instituciones de salud. (Ministerio de Salud y Protección Social).

En general se deduce que estas normativas buscan en su cumplimiento, garantizar la calidad de la atención a través del fortalecimiento del sistema de habilitación de los prestadores de servicios de salud, reducción de los riesgos asociados al uso de las tecnologías médicas de alta complejidad, mejorando los estándares de calidad y satisfacción de los servicios empleados, así como el control por parte de las entidades gubernamentales pertinentes que se desempeñan como actores de vigilancia como lo son el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad en Salud - SOGCS y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA.

Metodología

Como se ha documentado anteriormente en este proyecto, el mantenimiento predictivo reduce significativamente los costos operativos y el tiempo de inactividad en equipos de resonancia magnética en comparación con el mantenimiento preventivo tradicional, por lo cual se optó por estructurarlo de la siguiente manera.

Tipo de Investigación

El proyecto de investigación es de tipo documental o bibliográfico, puesto que se fundamenta en la revisión y análisis de literatura y de evidencia científica y normativa, relacionada con las características del mantenimiento de equipos de radiología digital, especialmente de los de Resonancia Magnética, su influencia en los costos operativos y el impacto en la calidad del servicio en salud. Este tipo de investigación pretende orientar el estudio usando datos existentes de diversas fuentes académicas, además de proporcionar una visión panorámica y sistemática de información dispersa (Reyes & Carmona, 2020).

Diseño de Investigación

Corresponde a un diseño descriptivo, ya que se analiza información pertinente relacionada con el tema; según Hernández, Fernández y Baptista (2014), los estudios descriptivos permiten especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Por lo anterior, este diseño tiene el fin de identificar factores asociados y relevantes de costos operacionales, vida útil e impacto en la calidad, en este sentido “la investigación descriptiva se efectúa cuando se desea describir, en todos sus componentes principales una realidad” (Guevara et al., 2020)

Enfoque de Investigación

Cuenta con un enfoque cualitativo con apoyo cuantitativo, ya que se obtiene, analiza y centra en la interpretación de la información, a partir de evidencia científica en el cual se

abarcan datos sobre mantenimientos de equipos de RM, los costos operativos y demás datos relevantes que complementan la comprensión en relación con la pregunta de investigación. Este enfoque permite comprender la importancia de los procesos de mantenimiento desde una perspectiva analítica y contextual (Sampieri et al., 2014)

Método y Recolección de Datos

Revisión sistemática documental y análisis de contenido por medio de la consulta de artículos, referentes científicos de las normativas vigentes, tesis de equipos biomédicos, libros en línea y documentos institucionales, afines a los mantenimientos predictivos en Colombia y a nivel internacional entre el periodo de 2015-2025. Estas técnicas son fundamentales para recopilar información confiable y valida sobre el mantenimiento de equipos biomédicos (OMS, 2022)

Base de datos: Scopus, PubMed, IEEE, Google Scholar, SciELO, ScienceDirect y repositorios institucionales (UNAD, UNAM, UAEM)

Población

La población objetivo de esta investigación corresponde a las fuentes documentales, científicas e institucionales abordadas, con información disponible sobre los informes técnicos, funcionamiento, fallas técnicas, mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos de los equipos incluyendo las situaciones asociadas a las actividades operativas, de calibración y costos de reparación.

Tabla 1*Criterios de Búsqueda y Selección Documental de la Investigación*

Ítems	Descripción
Tipo de fuentes documentales	Artículos y referentes científicos, tesis y normatividad técnica vigente de equipos biomédicos, libros en línea y documentos institucionales.
Periodo de publicación	2015-2025 (Algunas citas con excepciones para referencias clásicas)
Bases de datos	Scopus, PubMed, IEEE, Google Scholar, SciELO, ScienceDirect y repositorios institucionales (UNAD, UNAM, UAEM)
Idiomas	Español e inglés
Criterios de selección	Pertinencia temática, contenido valido, confiable y con respaldo institucional y de organismos internacionales (OMS, DOE, IAEA)
Palabras clave	Radiología digital, resonancia magnética, mantenimiento, sensores, fallas técnicas, costos operacionales

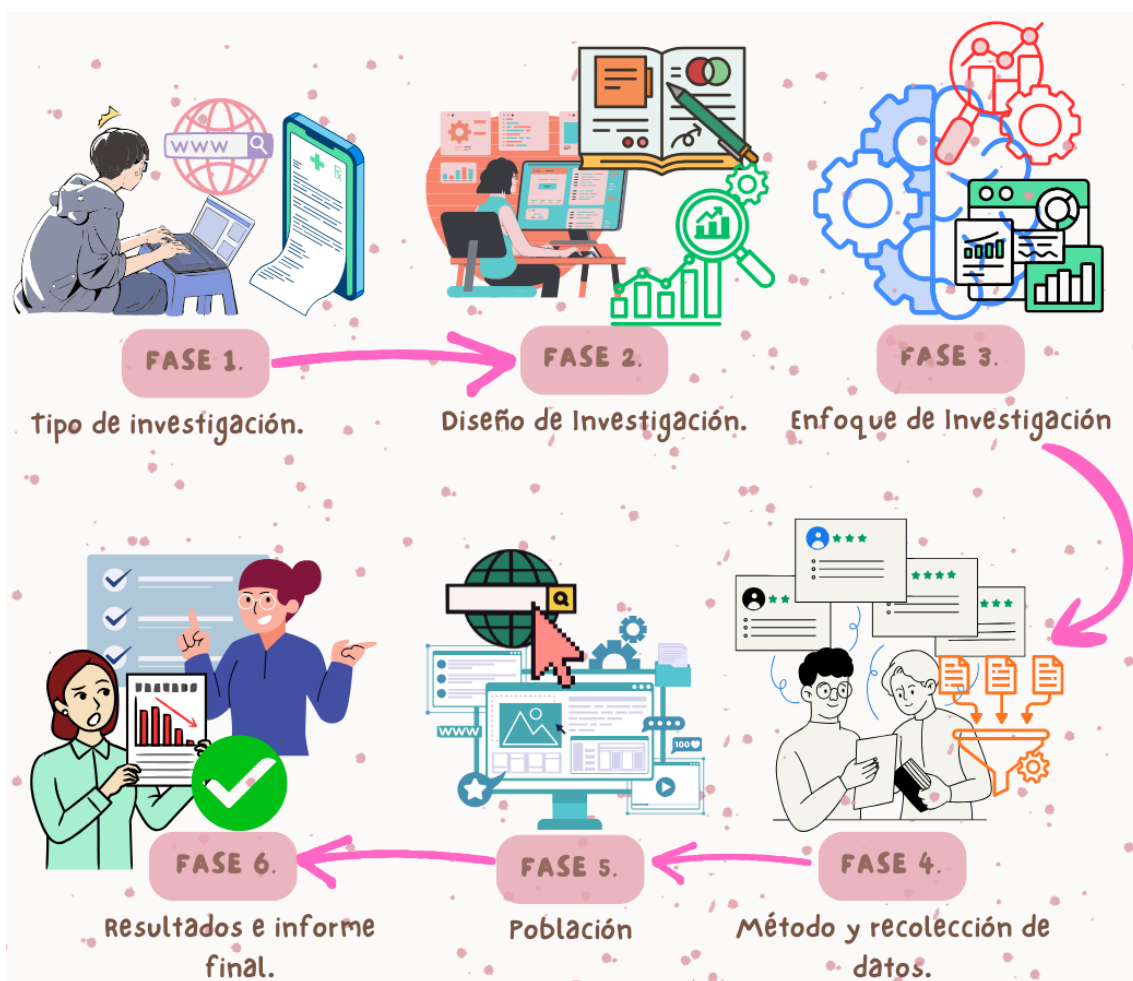
Nota. La tabla discrimina los criterios de búsqueda empleados en la selección de las fuentes de la revisión documental. Elaboración propia

Resultados e Informe Final

El resultado final está basado en definir el mantenimiento predictivo como mejora de los equipos de RM, sesgos económicos de operatividad y funcionalidad, así como el cumplimiento de la normativa vigente para elevar el porcentaje de calidad y seguridad en la prestación de los servicios de radiodiagnósticos a nivel hospitalario.

Figura 2

Diagrama de Metodología



Nota. Diagrama ilustrativo de la metodología desarrollada en la investigación durante cada fase realizada. Elaboración propia

Desarrollo del Proyecto

Impacto Económico y Reducción de Costos

El mantenimiento predictivo (MP) en equipos de resonancia magnética, genera un impacto significativo a nivel económico, demostrando que la adaptación a este permite una reducción de costos de mantenimiento de hasta un 25% y disminución aproximada del 70% de fallas inesperadas, como el caso de los incidentes por pérdida de helio (Quenches), que no solo comprometen los costos de adquisición y reparación, sino que también son peligrosos y además obligan a detener el servicio por tiempos prolongados, que así mismo afectan la productividad y flujo de servicio. (IRE, 2025)., uno de los hallazgos más contundentes de la literatura es la brecha económica entre operar bajo mantenimiento correctivo versus implementar modelos predictivos, en las siguientes tablas se resumen los datos reportados.

Tabla 2

Hallazgos Operativos de Implementación de Modelos Predictivos

Fuente	Indicador	Resultado reportado
GE healthcare (2020)	Reducción de inactividad no planificada en RM	Hasta 40%
GE healthcare (2020)	Reducción de solicitudes de servicio	Hasta 35%
Hitachi Healthcare (2019)	Reducción de downtime (Sentinel Analytics)	16.3%
Deloitte Analytics Institute (s.f.)	Reducción de fallas inesperadas	70%
Deloitte Analytics Institute (s.f.)	Aumento de productividad operativa	25%

Deloitte Analytics Institute (s.f.)	Reducción de costos de mantenimiento	25%
OXmaint (2025)	Adoptantes con ROI positivo	95%
OXmaint (2025)	Retorno de inversión comprobado	10x en 2–3 años
Phoenix Strategy Group (2024)	Recuperación de inversión en infraestructura predictiva	~6 meses
GE healthcare (2020)	Ingresos diarios promedio de un equipo de RM	USD \$41,000
GE healthcare (2020)	Costo de recarga de helio líquido por quench	USD \$20,000–40,000

Nota. La tabla reporta la brecha económica tras la implementación de modelos predictivos de mantenimiento. Elaboración propia

Asimismo, se identificó que las instituciones que implementan estrategias de mantenimiento predictivo obtienen un retorno de inversión (ROI) positivo, logrando recuperar costos de inversión inicial, gracias a la alta precisión y rendimiento predictivo generado a partir de la integración de sensores (IoT) e inteligencia artificial que a través de la monitorización en tiempo real de los equipos, obtiene la predicción de fallos e inactividad no planificada, ofreciendo ahorros significativos y optimizando la atención medica sanitaria para los proveedores de salud. (Mehta, R. 2026)

Optimización Operativa y Disponibilidad

El aumento en los gastos en salud y prevalencia de enfermedades crónicas, mantienen una dependencia de la tecnología de diagnóstico por imagen y un mercado de mantenimiento de equipos biomédicos, donde el uso e implementación de plataformas de monitoreo remoto y mantenimiento predictivo, como los sistemas fundamentados en analítica avanzada, en términos operativos reduce hasta un 40% el tiempo de inactividad no planificado (GE healthcare, 2020), por lo que la necesidad crítica de un rendimiento preciso

de dichos sistemas, es inminente y representa una vigilancia continua de desafíos notables, como los costos de relleno y reposición de helio, la temperatura del sistema, estabilidad del campo magnético y consumo energético, componentes esenciales para la anticipación de fallas y clave en la prevención de eventos adversos accidentales, permitiendo una planificación financiera más sólida. (IRE, 2025)

Tabla 3

Criterios Comparativos de Mantenimientos Preventivos Vs Predictivos

Criterio	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo
Enfoque	Basado en tiempo/calendario	Basado en condición del equipo
Detección de fallas	Tardía o programada	Temprana (monitoreo continuo)
Costos	Moderados a altos	Reducción hasta 25%
Fallas inesperadas	Frecuentes	Reducción hasta 70%
Tiempo de inactividad	Mayor	Reducción hasta 40%
ROI	No siempre claro	95% con ROI positivo
Seguridad del paciente	Dependiente del mantenimiento programado	Alta (prevención de incidentes)

Tecnología	Básica	IA, sensores, monitoreo remoto
------------	--------	--------------------------------

Nota. Se presenta una comparación de los principales criterios técnicos, operativos y económicos, evidenciando la superioridad del mantenimiento predictivo en la reducción de fallas, costos y riesgos para el paciente. Elaboración propia

Este enfoque estratégico en el uso de sistemas predictivos contribuye a optimizar la inversión tecnológica por medio de la mitigación de los riesgos financieros asociados a las interrupciones de los equipos, así mismo mejora la fiabilidad en el uso de estos, que están intrínsecamente ligados al flujo de trabajo y aprovechar la disponibilidad del servicio diagnóstico, priorizando la eficiencia, confiabilidad, previsión y garantizando la continuidad en la atención de alta calidad.

Seguridad del Paciente y Calidad Diagnóstica

En relación con la seguridad del paciente, los resultados indican que el uso de sistemas de aprendizaje autónomo como la IA y la monitorización continua de parámetros técnicos por medio de la nanotecnología, contribuye a la prevención de incidentes asociados al uso de modalidades de radiodiagnóstico, sin embargo es importante resaltar que para la seguridad del paciente, se hace necesario tener una atención humanizada de los pacientes y los entornos de trabajo, de tal forma que se mantenga una comunicación asertiva, efectiva y empática con el paciente, generando un trato digno, disminuir la ansiedad e inseguridad, así mismo es importante mejorar el aspecto de los ambientes, de confort, entornos amigables, accesibilidad, siendo agradables y relajantes tanto para los pacientes como sus acompañantes o familiares. (García et al., 2024).; de igual forma, la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo facilita el cumplimiento de la normativa vigente en Colombia, particularmente las Resoluciones 3100 de 2019, 544 de

2023 y 465 de 2025, las cuales establecen estándares de habilitación, calidad y seguridad en la prestación de servicios de salud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019; 2023; 2025).

En el caso de la resonancia magnética, se presentan eventos adversos por fallos humanos y del sistema, por ejemplo, las quemaduras por radiofrecuencia, reconocidas como la lesión más frecuente en este tipo de estudios (Tang & Yamamoto, 2023). También es importante relacionar los riesgos más frecuentes como lo son: la omisión de la prescripción 19%, errores diagnósticos 45%, eventos durante la exploración 27% donde el 78% son por complicaciones, el 5% por caídas y el 7% por el uso de medios de contraste, finalmente el 9% son debidos a la organización (García et al., 2022); estos hallazgos demuestran que la gestión proactiva del mantenimiento no solo mejora el desempeño técnico del equipo, sino que también impacta directamente en la calidad de la imagen diagnóstica y en la seguridad del usuario.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que el mantenimiento predictivo representa una evolución significativa frente a los modelos tradicionales de mantenimiento en equipos de resonancia magnética, tanto desde una perspectiva técnica como económica y clínica; dicho mantenimiento es más eficiente que el mantenimiento preventivo tradicional, ya que permite identificar fallas anticipadas y hacer las reparaciones en el momento adecuado en los equipos, constituyendo una herramienta clave y una estrategia eficiente y significativa que optimiza y garantiza el buen funcionamiento continuo de los sistemas de radiología digital; brindando fortaleza en la gestión tecnológica, sustentada en la evidencia científica, como la alternativa de mayor impacto positivo en la resolución, anticipación y continuidad en la prestación de los servicios de imagenología.

La incorporación del monitoreo predictivo aporta significativamente al rendimiento de los recursos, gracias al uso de tecnologías como sensores inteligentes, el análisis de datos y la inteligencia artificial, ayudando a que los equipos estén disponibles por más tiempo, garantizando las calibraciones adecuadas, reduciendo errores en la adquisición de imágenes, así mismo evitando la repetición de diversos estudios y la reducción del uso de costos operativos; visto desde el ámbito técnico al ser un mantenimiento basado en el análisis continuo de datos operativos y el uso de algoritmos de monitoreo, permite que las desviaciones, desgaste de componentes y anomalías se traduzcan en fallas anticipadas que se pueden revertir cuando los indicadores lo justifican a tal fin de reducir las intervenciones innecesarias y el riesgo del error humano en los desmontajes y reensamblaje del sistema.

Así pues, el enfoque predictivo desde la perspectiva económica, presenta en su mayoría más ventajas en la optimización de los equipos de radiodiagnóstico, en este caso particularmente los de resonancia magnética, evidenciando que se destacan por su eficiencia, mejora en el rendimiento, inactividad no planificada y la disponibilidad, influyendo directamente en prolongar la vida útil de los componentes críticos del sistema de RM, como los sistemas de gradientes, criogénico o las bobinas de radio frecuencia, obteniendo una menor pérdida de productividad y del presupuesto ligado a los controles de mantenimientos correctivos, de emergencia y maximizar la calidad diagnóstica, eficiencia operativa y el fortalecimiento de la seguridad del paciente, al garantizar la estabilidad del equipo, reducción de repeticiones de los estudios por artefactos y asegurar que el diagnóstico se base en información verídica y fiable desde la primera adquisición.

Además, que la integración sensorica avanzada con análisis de datos en tiempo real, representan un paso hacia la gestión inteligente de la tecnología médica soportada en los modelos de mantenimiento autónomos basados en inteligencia artificial y gemelos digitales, que permite identificar los patrones de desgaste, sobrecalentamiento o desalineación mecánica, convirtiéndolo en la base para decisiones preventivas económicas y clínicamente justificadas.

En síntesis, el monitoreo predictivo no solo optimiza el uso de los recursos materiales y económicos, sino que alinea el mantenimiento con los objetivos de seguridad del paciente y la eficiencia hospitalaria, convirtiéndose en un componente de gran impacto positivo en la administración y gestión clínica humanizada.

Referencias Bibliográficas

- Alkhatib, S., Katmah, R., Kosaji, D., Afzal, S. U. B., Tariq, M., Simsekler, M. C. E., & Ellahham, S. (2025). AI-Driven Decision Support Framework for Preventing Medical Equipment Failure and Enhancing Patient Safety: A New Perspective. *Journal Of Multidisciplinary Healthcare, Volume 18*, 6299-6313.
<https://doi.org/10.2147/jmdh.s528612>
- American Association of Physicists in Medicine (AAPM). (2002). Quality control in diagnostic radiology. *AAPM Report No. 74*. <https://radiofisica.group/wp-content/uploads/2022/02/Protocolo-espanol-version-1.pdf>
- Arregui, M., Alfaro, N., Baldizzoni, M., Wald, I., Gambogi, R., Ferreira, A., Simini, F. (2019). Reducción del riesgo en equipos biomédicos y en instalaciones eléctricas de entornos clínicos. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmib/v40n1/2395-9126-rmib-40-01-00003.pdf>
- Benhanifia, A., Ben Cheikh, Z., Oliveira, P. M., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274?via%3Dihub>
- Capelastegui, A et al. (2006). Seguridad en resonancia magnética: análisis basado en una revisión de incidentes en Osatek. *Radiología*. 2006; 48 (4): 225-34.
https://static.elsevier.es/multimedia/00338338/0000004800000004/v0_201307311105/13090405/v0_201307311107/es/119v48n04a13090405pdf001.pdf?idApp=UINPBA00004N&text=&utm_source=chatgpt.com

- Costa, J., Soria, J. (2015). Resonancia magnética dirigida a técnicos superiores en imagen para el diagnóstico. <https://dokumen.pub/resonancia-magnetica-dirigida-a-tecnicos-superiores-en-imagen-para-el-diagnostico-2-edicion.html>
- Deloitte Insights. (2025). Industry 4.0 and predictive technologies for asset maintenance. Deloitte United States. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html>
- García, O. M. J., Sánchez, A. M. V., Mora, M. D. P. P., & Sánchez, J. M. (2022). Plan de Seguridad en el área de resonancia magnética. *Seram*, 1(1). <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/8401/6867>
- García, O. M. J., Sánchez, J. M., Mora, P. P. (2024). Humanización de la asistencia sanitaria en la unidad de radiodiagnóstico. *Seram*, 1(1). <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9945/8411>
- GE HealthCare. (2020). OnWatch predict for MRI: Beyond downtime - redefining predictive medical equipment maintenance. *GE HealthCare Insights*. <https://www.gehealthcare.com/insights/article/beyond-downtime-redefining-predictive-medical-equipment-maintenance>
- Guevara, G., Verdesoto, A., Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860/1560>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. *McGraw-Hill Education*. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación:

Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *McGraw-Hill Education*.

<https://bellasartes.upn.edu.co/wp-content/uploads/2024/11/METODOLOGIA-DE-LA-INVESTIGACION-Sampieri-Mendoza-2018.pdf>

Hitachi Healthcare. (2019). Predictive maintenance of medical devices based on years of experience and advanced analytics. *Hitachi Social Innovation*.

<https://www.hitachi.com/en-in/insights/articles/preventive-predictive-healthcare/>

How Data Analytics Improves Profit Margin Insights – Phoenix Strategy Group. (s. f.).

<https://www.phoenixstrategy.group/blog/how-data-analytics-improves-profit-margin-insights>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2015). IEC 60601-1: Medical electrical equipment – General requirements for basic safety and essential performance.

<https://www.iso.org/standard/65529.html>

Ire. 2025. *Reducción de Costos Operativos en Resonancia Magnética*. IRE Rayos X.

<https://www.irerayosx.com/reduccion-de-costos-operativos-en-resonancia-magnetica/>

López, C. (2022). Guía Tecnológica para tomógrafos, mamógrafos y resonadores magnéticos según el ciclo de vida de los equipos en los hospitales para mejorar eficiencia, seguridad y calidad de diagnósticos en el área de imagenología”

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54281/1/T-112154%20L%c3%93PEZ.pdf>

Medina, C., Serna, E., Bermúdez, K., Zapata, P., Osorio, V. (2025). Tiempos críticos en radiología digital: un estudio sobre el impacto de las fallas de equipos en la eficiencia del servicio.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/78131/CMEDINAP.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Mehta, R. 2026. (Strategic Revenue Insights, s. f.). Perspectivas del Mantenimiento de Equipos Médicos hasta 2033.

<https://www.strategicrevenueinsights.com/es/blogs/medical-equipment-maintenance-market>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2005). Decreto 4725 de 2005. por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano.

<https://www.invima.gov.co/biblioteca/decreto-4725-2005-registros-sanitarios-dispositivos-medicos>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). Resolución 3100 de 2019. Por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y de habilitación de los servicios de salud y se adopta el Manual de Inscripción de Prestadores y Habilitación de Servicios de Salud.

https://www.minsalud.gov.co/normatividad_nuevo/resoluci%C3%B3n%20no.%203100%20de%202019.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2023). Resolución 544 de 2023. Por la cual se modifica la Resolución 3100 de 2019 en el sentido de adecuar algunos aspectos relacionados con la inscripción de prestadores y la habilitación de servicios de salud.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20544%20de%202023.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2025). Resolución 465 de 2025. “Por la cual se modifican los artículos 4, 5, 7, 19 y 20 de la Resolución 3100 de 2019 modificada por la Resolución 544 de 2023”.

https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%20No%20465%20de%202025.pdf

Morales, A., Ortiz, E., López, J., Toledo, J., Barrera, R. (2025). Internet de las cosas (IoT) y los sistemas interconectados para mejorar la seguridad del paciente, a través de la monitorización continua y la automatización de alerta en tiempo real. [rbarreraro.pdf](#)

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2009). Quality assurance programme for digital radiography. *IAEA Human Health Series No. 4. Vienna.*

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1958web.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). Medical equipment maintenance programme overview. *WHO Press.*

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/0d0dc761-44f8-49a7-a210-e02a50f6f152/content>

Organización Mundial de la Salud. (2012). Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos. [https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/0d0dc761-44f8-](https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/0d0dc761-44f8-49a7-a210-e02a50f6f152/content)

[49a7-a210-e02a50f6f152/content](https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/0d0dc761-44f8-49a7-a210-e02a50f6f152/content)

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Seguridad del paciente.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Seguridad de equipos biomédicos.

<https://www.who.int/teams/health-product-policy-and-standards/assistive-and-medical-technology/medical-devices/management-use>

Organización Panamericana de la Salud. (s/f). Garantía de la calidad radiodiagnóstico.

<https://www.paho.org/sites/default/files/GarantiaCalidadRadiodiagnostico.pdf>

OXmaint. (2025). Predictive maintenance in manufacturing: The ultimate 2025 ROI guide

& implementation steps. <https://www.oxmaint.com/blog/post/predictive-maintenance-in-manufacturing>

Reyes, L., Carmona, F. (2020). La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio.

<https://bonga.unisimon.edu.co/server/api/core/bitstreams/2af35a4b-2abf-4f78-a550-0a4e4764e674/content>

Rojas, J. (2024). Procedimiento para la evaluación económica de equipo médico en una institución de salud.

<https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/01811c00-66a1-49f3-badd-a05ba54a2c73/content>

Sociedad Española de Física Médica., Sociedad Española de Protección Radiológica.,

Sociedad Española de Radiología Médica. (2011). Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. https://seram.es/wp-content/uploads/2021/09/protocolo_2011.pdf

Sociedad Española de Radiología Medica. (2016). Manual para técnico superior en imagen para el diagnóstico y medicina nuclear. *Capítulo 55. Principios físicos de la*

resonancia magnética. Secuencias. P-697. <https://mieureka-medicapanamericana-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/viewer/manual-para-tecnico-superior-en-imagen-para-el-diagnostico-y-medicina-nuclear/697>

Tang, M., Yamamoto, T. (2023). Avances en la comprensión del calentamiento por

radiofrecuencia y las lesiones por quemaduras para una resonancia magnética más

segura. *Magn Reson Med Sci. National Library of Medicine.*

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9849420/>

U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program. (2010). Operations & maintenance best practices: A guide to achieving operational efficiency, Release 3.0 - Chapter 5: Types of maintenance programs. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. https://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OM_5.pdf

Vásquez López, D. (2024). Evaluación de los programas de garantía de calidad en instalaciones de resonancia magnética nuclear para diagnóstico médico y su impacto en la calidad de imagen [Tesis de maestría Universidad Autónoma del estado de México]. <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/142496/Daniel-Tesis1.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Villada, F., Moreno, G., Valencia, J. (2002). El mantenimiento predictivo y su efecto en la optimización de costos de mantenimiento.

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/326346/20783621>