

**Influencia del mantenimiento predictivo en la eficiencia operativa y la vida útil de equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética: una revisión documental**

Darlyn Briyith Erazo Jossa

Duván Felipe Niño Hernández

Jefferson Steven Gómez Lancheros

Maribel Saavedra Saavedra

Yanitza Alexandra Mora Vivas

Asesora

Edna Roció Jamaica Guio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela Ciencias de la Salud - ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnosticas

2026

### **Agradecimientos**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por guiarnos en este camino profesional y por brindarnos la sabiduría y la salud necesarias para superar cada reto durante este proceso de aprendizaje. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por permitirnos formarnos profesionalmente de la mejor manera, orientándonos y aportándonos conocimientos esenciales para nuestra vida en cada etapa del proceso académico.

Expresamos también nuestra gratitud a la directora de curso y asesora de este proyecto investigativo, Edna Rocío Jamaica, por su dedicación a la enseñanza y su valiosa contribución a nuestro aprendizaje.

Finalmente, agradecemos a nuestras familias, quienes representan nuestra fortaleza y motivación para levantarnos cada día con el deseo de ser mejores, alcanzar nuestras metas y continuar creciendo tanto personal como profesionalmente.

## Resumen

El presente estudio analiza la influencia de los modelos de mantenimiento aplicados a equipos de Tomografía Axial Computarizada y Resonancia Magnética en la eficiencia operativa, la vida útil y la calidad de los estudios diagnósticos. Estos sistemas representan tecnologías fundamentales en los servicios de imagenología, cuyo adecuado funcionamiento depende del estado de sus componentes y de las estrategias de mantenimiento empleadas (Henao Ossa, 2021).

A partir de un enfoque cualitativo y un diseño de tipo descriptivo–analítico, se abordan los principales fundamentos teóricos relacionados con el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo, así como los factores de deterioro que afectan el desempeño de los equipos de alta complejidad. En este sentido, se describen las características de los sistemas de mantenimiento, se identifican los componentes críticos y se evalúa su relación con la calidad de las imágenes diagnósticas (Moreno, 2023).

Asimismo, se establece una relación entre los modelos de mantenimiento y variables como la eficiencia operativa y la vida útil de los equipos, evidenciando que el seguimiento del estado de los sistemas y la adecuada gestión del mantenimiento constituyen elementos clave para garantizar la continuidad del servicio y la confiabilidad de los estudios (Abd Rahman et al.,2023).

Se concluye que el análisis de los enfoques de mantenimiento permite comprender su impacto en el desempeño de los equipos de diagnóstico por imagen, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión tecnológica en los servicios de radiología.

**Palabras Clave:** mantenimiento, tomografía computarizada, resonancia magnética, eficiencia operativa, calidad diagnóstica.

## Abstract

This study analyzes the influence of maintenance models applied to Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) equipment on operational efficiency, lifespan, and the quality of diagnostic studies. These systems represent fundamental technologies in imaging services, whose proper functioning depends on the condition of their components and the maintenance strategies employed (Henao Ossa, 2021).

Using a qualitative approach and a descriptive-analytical design, the main theoretical foundations related to preventive and predictive maintenance are addressed, as well as the deterioration factors that affect the performance of highly complex equipment. In this regard, the characteristics of maintenance systems are described, critical components are identified, and their relationship with the quality of diagnostic images is evaluated (Moreno, 2023).

Furthermore, a relationship is established between maintenance models and variables such as operational efficiency and equipment lifespan, demonstrating that monitoring system status and proper maintenance management are key elements for ensuring service continuity and the reliability of studies (Abd Rahman et al., 2023).

It is concluded that analyzing maintenance approaches allows for understanding their impact on the performance of diagnostic imaging equipment, contributing to strengthening technological management in radiology services.

**Keywords:** Maintenance, computed tomography, magnetic resonance imaging, operational efficiency, diagnostic quality.

## Tabla de contenido

Introducción .....	9
Planteamiento del Problema.....	11
Justificación.....	15
Objetivos .....	18
Objetivo General .....	18
Objetivos Específicos .....	18
Marco Teórico.....	19
Resonancia Magnética.....	21
<i>Principios Físicos y Operativos</i> .....	21
<i>Componentes Críticos y Desgaste</i> .....	22
<i>Mantenimiento Preventivo Tradicional (MPT)</i> .....	23
<i>Mantenimiento Predictivo (PdM) y Monitoreo de Condición</i> .....	24
<i>Prolongación de la Vida Útil del Activo</i> .....	24
<i>Indicadores de Eficiencia Operativa (KPIs)</i> .....	25
<i>Gestión de Tecnología Médica</i> .....	26
Tomografía Axial Computarizada.....	26
<i>Fundamentos de los Equipos de Imagenología de Alta Complejidad</i> .....	26
<i>Principios de Funcionamiento de la Tomografía Computarizada</i> .....	27
<i>Mantenimiento Predictivo y Eficiencia Operativa</i> .....	29
<i>Tele-radiología y Monitoreo Remoto de Sistemas de Diagnóstico</i> .....	19
<i>Normativas y Estándares Internacionales en Dispositivos Médicos</i> .....	19
<i>Gestión Tecnológica de Equipos Biomédicos</i> .....	20

Marco Metodológico .....	30
Análisis de Contenido .....	31
Análisis Comparativo .....	31
<i>Fase 1 Búsqueda Documental</i> .....	31
<i>Fase 2 Selección y Aplicación de Criterios</i> .....	32
<i>Fase 3 Organización de la Información</i> .....	32
<i>Fase 4 Análisis de la Información</i> .....	32
<i>Fase 5 Síntesis y redacción</i> .....	32
Resultados .....	33
Comparación entre mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo .....	33
Factores de deterioro y componentes críticos en TC y RM .....	36
Relación entre mantenimiento, calidad de imagen y eficiencia operativa .....	38
Uso de inteligencia artificial y desafíos de implementación .....	39
Interpretación general de los hallazgos .....	40
Análisis Comparativo Internacional. ....	42
Conclusiones .....	46
Referencias .....	48

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Comparación entre Mantenimiento Preventivo y Predictivo en Equipos de Diagnóstico por Imagen. ....</i>	34
<b>Tabla 2</b> <i>Relación entre Deterioro del Equipo e Impacto en la Calidad Diagnóstica .....</i>	37
<b>Tabla 3</b> <i>Tendencias del Mantenimiento Predictivo a Nivel Internacional... ..</i>	42

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Comparación de Modelos de Mantenimiento Preventivo vs Predictivo</i> .....	35
<b>Figura 2</b> <i>Incremento del Tiempo de Operación Anual Mediante Mantenimiento Predictivo en Equipos Médicos</i> .....	36

## Introducción

La calidad de la imagen en los estudios de diagnóstico radiológico constituye un pilar fundamental para la toma de decisiones clínicas, ya que de ella depende la precisión en la detección, caracterización y seguimiento de diversas patologías. En este contexto, tecnologías como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) han evolucionado significativamente, incorporando sistemas digitales avanzados que permiten obtener imágenes de alta resolución, contraste adecuado y bajo nivel de ruido. Sin embargo, la calidad diagnóstica no depende exclusivamente de las capacidades tecnológicas de los equipos, sino también de su adecuado funcionamiento y mantenimiento.

Diversos estudios han evidenciado que el deterioro progresivo de los componentes críticos, como el tubo de rayos X en TC o la estabilidad del campo magnético en RM, puede generar alteraciones en parámetros técnicos esenciales, traducándose en artefactos, pérdida de resolución y disminución de la confiabilidad diagnóstica como lo mencionan (Ardila Gómez et al., 2024; Alajo Tarco, 2021). En este sentido, el mantenimiento de los equipos biomédicos se posiciona como un factor determinante para garantizar la calidad de imagen y la continuidad del servicio en las instituciones de salud.

Tradicionalmente, los modelos de mantenimiento preventivo han sido ampliamente utilizados; sin embargo, estos presentan limitaciones al basarse en intervalos de tiempo fijos que no siempre reflejan el estado real de los equipos. Frente a ello, el mantenimiento predictivo emerge como una alternativa innovadora, apoyada en el monitoreo continuo, el análisis de datos y el uso de inteligencia artificial, permitiendo anticipar fallas y optimizar el rendimiento de los sistemas, (Gallab, 2024; Chen et al., 2025).

En este sentido, la presente investigación tiene como propósito analizar la influencia de la transición del mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos de monitoreo predictivo en la extensión de la vida útil y la eficiencia operativa de los sistemas de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética, a partir de una revisión documental de literatura científica y técnica. Asimismo, se busca establecer la relación entre el estado operativo de los equipos, la aparición de fallas técnicas y su impacto en la calidad de las imágenes diagnósticas, evidenciando la importancia de implementar estrategias de mantenimiento basadas en inteligencia artificial y monitoreo continuo para garantizar la seguridad del paciente, la confiabilidad diagnóstica y la continuidad del servicio.

## Planteamiento del Problema

Los equipos de tomografía axial computarizada (TAC) y resonancia magnética (RM) constituyen tecnologías fundamentales dentro de los servicios de diagnóstico por imagen debido a su complejidad tecnológica y a su papel determinante en la detección y seguimiento de múltiples patologías. Su disponibilidad operativa influye directamente en la continuidad asistencial, la oportunidad diagnóstica y la calidad de los estudios realizados en los servicios de radiología (Alajo Tarco, 2021; Henao Ossa, 2021; Rodríguez Morocho, 2024).

Estos sistemas incorporan componentes críticos sometidos a condiciones exigentes de operación. En el caso del TAC, el tubo de rayos X está expuesto a elevadas cargas térmicas generadas durante el proceso de producción de radiación, lo que favorece su desgaste progresivo y puede afectar la estabilidad del sistema con el paso del tiempo (Alajo Tarco, 2021). Asimismo, parámetros técnicos asociados al funcionamiento del equipo influyen directamente en la generación de la imagen diagnóstica y en su calidad final (Segovia Borda, M. L., 2024).

En los sistemas de resonancia magnética, el funcionamiento adecuado depende de la estabilidad del magneto principal y de los sistemas de enfriamiento que garantizan la conservación del campo magnético requerido para la obtención de imágenes confiables (Campuzano Palacio, 2025).

La degradación progresiva de los componentes de estos sistemas puede manifestarse a través de alteraciones en el proceso de adquisición de imágenes. En tomografía computarizada, por ejemplo, es frecuente la aparición de artefactos que afectan la calidad visual de las imágenes y que pueden interferir con la interpretación clínica de los estudios. Estas distorsiones pueden estar asociadas a problemas de calibración, deterioro de componentes o fallas en el sistema de adquisición de datos (Camargo Gómez et al., 2023; Ardila Gómez et al., 2024). En consecuencia,

la aparición de artefactos o fallas técnicas constituye un indicador relevante del estado operativo de los equipos de imagenología.

En este contexto, el mantenimiento de los equipos de diagnóstico por imagen se convierte en un elemento clave para preservar la confiabilidad del sistema y garantizar la calidad de los estudios diagnósticos. Tradicionalmente, la gestión del mantenimiento en equipos biomédicos ha seguido esquemas preventivos programados, basados en intervenciones periódicas establecidas por protocolos técnicos o recomendaciones del fabricante. Sin embargo, este modelo se basa en intervalos de tiempo predefinidos y no necesariamente refleja el estado real de los componentes del equipo (Moreno, 2023).

La sustitución anticipada de componentes que aún mantienen capacidad funcional puede generar uso ineficiente de recursos, mientras que la ausencia de monitoreo continuo puede favorecer la aparición de fallas inesperadas entre los intervalos de mantenimiento programado. En equipos de alta complejidad como el TAC o la RM, estas fallas pueden traducirse en interrupciones del servicio, deterioro de la calidad de las imágenes o disminución en la confiabilidad de los estudios diagnósticos (Hena Ossa, 2021).

Diversos estudios han señalado que las estrategias de gestión del mantenimiento en tecnología médica deben evolucionar hacia modelos que permitan supervisar de manera más precisa el comportamiento operativo de los equipos y anticipar posibles fallas antes de que se conviertan en eventos críticos (Rodríguez Morocho, 2024). En este sentido, el desarrollo de herramientas de análisis de datos y monitoreo continuo ha impulsado la aparición de enfoques de mantenimiento predictivo basados en el análisis del comportamiento de los sistemas tecnológicos.

El mantenimiento predictivo permite identificar patrones de degradación mediante el análisis de variables operativas y el uso de herramientas analíticas avanzadas, lo que facilita la detección temprana de anomalías en el funcionamiento de los equipos (Hwang, 2022). Este enfoque ha comenzado a explorarse en el ámbito de la tecnología médica mediante el uso de modelos de aprendizaje automático capaces de analizar el comportamiento de componentes críticos.

Investigaciones recientes han demostrado que los modelos de inteligencia artificial pueden utilizarse para identificar patrones de fallo en tubos de rayos X de equipos de tomografía computarizada, lo que permite anticipar posibles fallas y estimar la vida útil de estos componentes (Pomsar, 2025). De manera similar, otros estudios han explorado el uso de modelos de aprendizaje profundo para predecir el comportamiento de estos sistemas a partir de datos operativos registrados durante su funcionamiento (Chen et al., 2025).

No obstante, a pesar de estos avances tecnológicos, la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo en los servicios hospitalarios aún es limitada. Muchos centros de diagnóstico continúan utilizando esquemas de mantenimiento preventivo tradicional que no integran plenamente herramientas de análisis de datos ni sistemas de monitoreo continuo del estado de los equipos (Gallab, 2024).

Esta situación evidencia una brecha entre el desarrollo de tecnologías orientadas al mantenimiento inteligente y su aplicación efectiva en la gestión de equipos de diagnóstico por imagen. En consecuencia, resulta pertinente analizar el papel que podrían desempeñar los modelos de monitoreo predictivo en la mejora del desempeño operativo de los equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética.

A partir de lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo influye la transición del mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos de monitoreo predictivo en la extensión de la vida útil y la eficiencia operativa de los sistemas de Tomografía Axial Computarizada y Resonancia Magnética?

## Justificación

Los equipos de tomografía axial computarizada (TAC) y resonancia magnética (RM) representan tecnologías fundamentales para el diagnóstico médico debido a su capacidad para generar imágenes detalladas que permiten identificar alteraciones anatómicas y funcionales en el organismo. El funcionamiento adecuado de estos sistemas depende de la estabilidad de múltiples componentes electrónicos y físicos que operan bajo condiciones técnicas exigentes.

En los equipos de tomografía computarizada, el tubo de rayos X constituye uno de los componentes más críticos del sistema, ya que es responsable de la generación de la radiación utilizada para la obtención de imágenes diagnósticas. Durante su funcionamiento, este componente se encuentra sometido a altas cargas térmicas que pueden favorecer su desgaste progresivo y afectar su desempeño con el tiempo (Alajo Tarco, 2021). Asimismo, diversos parámetros técnicos asociados al funcionamiento del equipo influyen directamente en la producción de radiación y en la calidad de la imagen obtenida (Segovia Borda, M. L., 2024).

El deterioro de los componentes de los equipos de imagenología puede manifestarse a través de la aparición de artefactos o alteraciones en las imágenes diagnósticas. Estas distorsiones pueden dificultar la interpretación clínica de los estudios y afectar la precisión del diagnóstico médico (Camargo Gómez et al., 2023; Ardila Gómez et al., 2024). Por esta razón, el monitoreo del estado operativo de los equipos constituye un aspecto fundamental para garantizar la calidad de los estudios realizados.

Desde la perspectiva de la gestión tecnológica hospitalaria, los equipos de diagnóstico por imagen representan inversiones significativas para las instituciones de salud. Las fallas inesperadas pueden generar interrupciones en la prestación del servicio, aumento de los costos de mantenimiento y disminución en la disponibilidad de los equipos para la atención de los

pacientes. En este sentido, diversos estudios han resaltado la importancia de implementar estrategias de mantenimiento que permitan optimizar el uso de los equipos biomédicos y mejorar su desempeño operativo (Hena Ossa, 2021; Rodríguez Morocho, 2024).

En este contexto, el mantenimiento predictivo surge como una alternativa que permite mejorar la gestión del mantenimiento mediante el monitoreo continuo de variables operativas y el análisis de datos generados por los equipos. Este enfoque facilita la identificación temprana de anomalías en el funcionamiento del sistema, lo que permite planificar intervenciones técnicas antes de que se produzcan fallas críticas.

El desarrollo de herramientas basadas en inteligencia artificial ha ampliado las posibilidades de aplicación del mantenimiento predictivo en el ámbito de la tecnología médica. Investigaciones recientes han demostrado que los modelos de aprendizaje automático pueden identificar patrones de deterioro en componentes críticos de equipos de tomografía computarizada, lo que permite estimar su vida útil y anticipar posibles fallas (Pomsar, 2025; Chen et al., 2025).

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos disponibles, la implementación sistemática de estrategias de mantenimiento predictivo en entornos hospitalarios aún es limitada. Muchos servicios de diagnóstico por imagen continúan operando bajo esquemas tradicionales de mantenimiento preventivo que no incorporan plenamente herramientas de monitoreo continuo ni análisis avanzado de datos (Gallab, 2024).

En este sentido, analizar la influencia de la transición desde el mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos de monitoreo predictivo en equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética resulta relevante tanto desde una perspectiva técnica como desde la gestión de la tecnología médica. Este tipo de análisis puede contribuir a fortalecer la confiabilidad

operativa de los equipos, mejorar la calidad de los estudios diagnósticos y optimizar la gestión del mantenimiento en los servicios de radiología.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar, desde la evidencia documental, el proceso de transición del modelo de mantenimiento preventivo hacia el monitoreo predictivo en el contexto del mantenimiento de equipos de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética.

### **Objetivos Específicos**

Describir, a partir de la literatura científica, las características de los modelos de mantenimiento preventivo y predictivo en equipos de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética.

Identificar, según lo reportado en la literatura, los principales factores de deterioro y componentes críticos que justifican la transición del mantenimiento preventivo hacia enfoques predictivos en equipos de diagnóstico por imagen.

Evaluar, desde la evidencia documental, la relación entre los modelos de mantenimiento, especialmente el predictivo, y la calidad de los estudios diagnósticos en equipos de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética.

## **Marco Teórico**

### **Tele-radiología y Monitoreo Remoto de Sistemas de Diagnóstico en Tomografía y**

#### **Resonancia Magnética**

El desarrollo de tecnologías digitales ha permitido la implementación de sistemas de tele-radiología, que facilitan la transmisión remota de imágenes médicas para su interpretación por especialistas ubicados en diferentes lugares.

Como afirma García et al., (2013), la tele-radiología se basa en el uso del estándar DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), que permite almacenar, transmitir y visualizar imágenes diagnósticas a través de redes informáticas.

La implementación de estos sistemas permite que los estudios de tomografía computarizada sean analizados por radiólogos de manera remota, lo que mejora los tiempos de respuesta diagnóstica y amplía el acceso a servicios especializados, especialmente en regiones apartadas donde la disponibilidad de especialistas es limitada debido a su ubicación geográfica.

Además, las plataformas de tele-radiología han facilitado el desarrollo de sistemas de monitoreo remoto de equipos médicos, permitiendo que fabricantes y servicios técnicos puedan supervisar el estado operativo de los dispositivos, detectar fallos potenciales y optimizar las estrategias de mantenimiento.

### **Normativas y Estándares Internacionales en Dispositivos Médicos – Tomografía y**

#### **Resonancia Magnética**

La gestión y mantenimiento de equipos médicos deben cumplir con estándares internacionales de calidad que garanticen la seguridad del paciente y el correcto funcionamiento de la tecnología.

Uno de los estándares más relevantes en este ámbito es la norma (ISO), desarrollada por la Organización Internacional de Normalización, la cual establece los requisitos para los sistemas de gestión de calidad aplicados a dispositivos médicos (ISO, 2016).

Esta norma regula aspectos fundamentales relacionados con la gestión de dispositivos médicos, incluyendo el diseño y la fabricación de estos equipos, la trazabilidad de sus componentes críticos, la gestión de riesgos asociados al uso de tecnología médica, el control documental y los registros de mantenimiento, así como los procedimientos de servicio técnico y soporte necesarios para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente.

Aunque esta certificación se aplica principalmente a fabricantes de equipos médicos, sus principios influyen directamente en los procesos de mantenimiento y gestión tecnológica dentro de hospitales, ya que promueve prácticas orientadas a la seguridad del paciente y la confiabilidad de los dispositivos médicos.

### **Gestión Tecnológica de Equipos Biomédicos**

La gestión de tecnología médica es un componente fundamental dentro de los sistemas de salud, ya que permite garantizar que los equipos biomédicos se utilicen de manera segura, eficiente y sostenible.

De acuerdo con Cataño Ospina (2021), identificamos que una adecuada gestión tecnológica en el ámbito de la salud comprende diversas actividades orientadas a garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos biomédicos. Entre estas se incluyen el inventario y registro de los equipos, la planificación del mantenimiento preventivo y correctivo, el control documental de las intervenciones técnicas realizadas, la evaluación del desempeño de los equipos y la implementación de planes de mejora continua que permitan optimizar su operación y prolongar su vida útil.

Estos procesos permiten optimizar el uso de la tecnología médica, reducir costos operativos y mejorar la calidad de los servicios de salud. En particular, en áreas de diagnóstico por imágenes, la gestión tecnológica es crucial debido a la alta complejidad técnica y al impacto clínico de estos equipos en la atención del paciente.

## **Resonancia Magnética**

### ***Principios Físicos y Operativos***

El funcionamiento de los equipos de resonancia magnética depende de la correcta ejecución de los procesos de mantenimiento, cada componente que lo conforma es fundamental para dar los mejores resultados en la atención médica. Estos mantenimientos y calibraciones se implementan desde enero de 1983, cuando Siemens instaló su primer prototipo de RM clínica en la Facultad de Medicina de Hannover se realizaron exploraciones a más de 800 pacientes como parte de ensayos clínicos (Grätz, 2020). Cada uso genera desgaste de sus piezas o pérdida de helio que se debe reponer, un equipo de resonancia magnética se basa de tres elementos principales: el campo magnético, los gradientes y la radiofrecuencia. El campo magnético, medido en Teslas o Gauss, es el que alinea los protones de hidrógeno del cuerpo humano para que puedan generar señal. Los gradientes son bobinas que modifican ese campo de manera controlada, permitiendo localizar la señal en diferentes puntos del espacio. Finalmente, los pulsos de radiofrecuencia excitan los protones y hacen que emitan una respuesta electromagnética, la cual es captada por el equipo y transformada en imagen.

Los imanes que producen el campo magnético se dividen en tres tipos:

Imanes permanentes, hechos de materiales ferromagnéticos como hierro o níquel. Son económicos y no requieren energía ni refrigeración, pero generan campos de baja potencia y poca homogeneidad.

Imanes resistivos, que funcionan como electroimanes alimentados por corriente eléctrica. Pueden alcanzar entre 0.1 y 0.3 Tesla, aunque producen mucho calor y necesitan sistemas de refrigeración, lo que aumenta los costos.

Imanes superconductores, los más usados en la práctica clínica. Se mantienen a temperaturas muy bajas hasta  $-268$  °C gracias al uso de helio líquido, lo que permite producir campos magnéticos intensos y homogéneos, desde 0.5 hasta 7 Tesla. Aunque su mantenimiento es el más costoso, son los que ofrecen la mejor calidad de imagen y por tanto los más utilizados.

En conjunto, el campo magnético principal asegura la alineación de los protones, los gradientes permiten ubicar la señal en el espacio y la radiofrecuencia excita y detecta la respuesta de los núcleos de hidrógeno. La combinación de estos tres elementos hace posible obtener imágenes precisas y detalladas sin necesidad de radiación ionizante (Subias & Jerez, 2015).

### ***Componentes Críticos y Desgaste***

Los resonadores magnéticos deben contar con un mantenimiento regular para asegurar que no se presenten defectos a largo plazo ni problemas asociados a su uso. Es necesario realizar tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo, acompañado de revisiones e inspecciones periódicas, con el fin de evitar artefactos en las imágenes, como aquellas borrosas, movidas o con destellos, que pueden ser consecuencia de bobinas de gradiente defectuosas. Las fallas derivadas de un mantenimiento inadecuado comprometen la calidad de la imagen diagnóstica y la seguridad del paciente.

Los niveles bajos de helio juegan un papel fundamental, ya que, este elemento es esencial para el enfriamiento interno del equipo. Si no se mantiene un nivel adecuado, el resonador puede llegar a inhabilitarse, generando interrupciones en el servicio y altos costos de recuperación.

Por último, los cortes de energía representan un problema común que ocasiona una mala calibración de las bobinas de gradiente. Este tipo de situaciones incrementa los costos de mantenimiento y reparación, e incluso puede dejar obsoleto el resonador magnético si no se gestionan de manera adecuada (Gomez, 2023).

### ***Mantenimiento Preventivo Tradicional (MPT)***

Dentro de los mantenimientos necesarios para el correcto funcionamiento de un resonador magnético y la generación de un buen campo electromagnético, es fundamental mantener una temperatura adecuada. Esto requiere niveles óptimos en el sistema criogénico con helio, el cual debe ser controlado y nivelado, ya que por la evaporación natural o por fugas en el sistema de sellado se producen pérdidas que deben ser reabastecidas periódicamente.

La cabeza de enfriamiento del resonador también requiere un mantenimiento cuidadoso, debido a que es el sistema criogénico encargado de condensar el helio gaseoso nuevamente en líquido, con el fin de mantener la temperatura adecuada y evitar recargas frecuentes.

En cuanto a las bobinas de radiofrecuencia, es necesario verificar su funcionalidad para asegurar que detectan y emitan señales con la potencia correcta, garantizando la calidad de las imágenes obtenidas.

Finalmente, el sistema de soporte electrónico responsable del procesamiento y transmisión de los datos recopilados debe mantenerse en óptimas condiciones. Un mal mantenimiento en este sistema se refleja en imágenes borrosas o con artefactos, debido a una adquisición deficiente en la uniformidad espacial y temporal dentro del escáner de resonancia (Gomez, 2023).

### ***Mantenimiento Predictivo (PdM) y Monitoreo de Condición***

Los mantenimientos predictivos se realizan con la finalidad de reducir los tiempos de inactividad y anticipar posibles fallas, mediante el análisis de datos históricos, el uso de herramientas de visualización avanzada y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial. Las fallas identificadas se representan a través de gráficas, mapas de calor y matrices críticas, lo que permite localizar los componentes con mayor frecuencia de error. En este tipo de estudios, las fallas suelen clasificarse en tres niveles: críticas, medias y bajas, utilizando algoritmos de inteligencia artificial para establecer la prioridad de intervención.

La incorporación de datos sintéticos en estos procesos facilita el balanceo de cargas y la optimización de capacidades, permitiendo realizar ajustes y protocolos técnicos más precisos. De esta manera, el mantenimiento predictivo no solo anticipa fallos, sino que también mejora la eficiencia operativa y prolonga la vida útil de los equipos de resonancia magnética (Campuzano Palacio, 2025).

### ***Prolongación de la Vida Útil del Activo***

Para prolongar la vida útil del equipo de resonancia magnética, es fundamental realizar mantenimientos preventivos y labores de limpieza, lo que garantiza un funcionamiento adecuado y estable. Entre las acciones necesarias se incluyen la lubricación correcta de las piezas móviles, mantener limpios y secos los sistemas eléctricos y, no menos importante, asegurar que el personal esté debidamente capacitado. La formación del personal es fundamental para identificar oportunamente fallas en el sistema y verificar el cumplimiento de los protocolos de mantenimiento. Esto incluye la realización de calibraciones periódicas, actualizaciones de software y la evaluación continua de las condiciones de la infraestructura donde se encuentra

instalado el equipo, la cual debe garantizar una superficie fija y correctamente nivelada para asegurar su funcionamiento adecuado.

Así mismo, resulta esencial comprobar que no existan fugas en el sistema criogénico, ya que estas afectan directamente la eficiencia del enfriamiento y pueden comprometer el rendimiento del resonador. La aplicación adecuada de estas medidas permite realizar estudios con mayor eficacia, obtener diagnósticos más precisos, reducir costos por errores o mantenimientos innecesarios y, esto repercute directamente en la prolongación de la vida útil de los equipos de resonancia magnética (Promedico., 2024).

### ***Indicadores de Eficiencia Operativa (KPIs)***

Los indicadores KPIs permiten evaluar la eficiencia operativa de los equipos de resonancia magnética, maximizando su uso y mejorando el flujo de pacientes. Estos indicadores incluyen el análisis de los tiempos de utilización del equipo, sus horas programadas y horas disponibles, el número total de procedimientos realizados mensualmente y, el tiempo promedio de atención por paciente.

La información se recopila directamente de los registros de los escáneres, facilitando identificar mediante patrones, su uso y así, optimizar la programación en los momentos de mayor demanda, permitiendo establecer los tiempos de reparación y mantenimiento.

El uso adecuado de estos indicadores contribuye a reducir tiempos de espera, mejorar la productividad, garantizar diagnósticos más oportunos y optimizar la vida útil del equipo. Este método no solo evalúa la eficiencia técnica del equipo, sino también su impacto directo en la calidad del servicio y en la satisfacción de los pacientes (Petroianu, et al., 2024).

### ***Gestión de Tecnología Médica***

Estas directrices internacionales de la OMS y la OPS/PAHO, tienen como finalidad garantizar el acceso equitativo, la seguridad, los costos y efectividad de los equipos de salud, incluyendo los sistemas de resonancia magnética. Estas directrices se basan en evaluaciones de tecnologías sanitarias, que permiten establecer protocolos estrictos para reducir riesgos asociados a los procedimientos y asegurar la calidad diagnóstica.

También promueven la capacitación continua del personal para fortalecer sus competencias en operación, mantenimiento y gestión de riesgos, además de establecer protocolos de mantenimiento y calibración que mantienen la calidad y confiabilidad de los equipos, lo cual reduce fallas y tiempos de inactividad.

Esto permite generar planes de mantenimiento preventivo y predictivo, protocolos de calibración periódica y estrategias de gestión que aseguren la continuidad del servicio y la seguridad del paciente (OMS, 2026).

### **Tomografía Axial Computarizada**

#### ***Fundamentos de los Equipos de Imagenología de Alta Complejidad***

Los equipos de imagenología de alta complejidad, como la tomografía computarizada (TC), representan tecnologías fundamentales dentro del diagnóstico médico moderno. Estos sistemas permiten obtener imágenes detalladas del interior del cuerpo humano, facilitando la detección temprana de patologías, la planificación de tratamientos y el seguimiento clínico de diversas enfermedades. Debido a su complejidad tecnológica, alto costo de adquisición y relevancia clínica, estos equipos son considerados activos críticos dentro de las instituciones de salud, lo que exige una adecuada gestión técnica y operativa (Cataño Ospina, 2021).

La correcta comprensión de los principios físicos y tecnológicos que sustentan el funcionamiento de estos equipos es esencial para garantizar su uso eficiente, su mantenimiento adecuado y la seguridad del paciente.

### ***Principios de Funcionamiento de la Tomografía Computarizada***

La tomografía computarizada (TC) es una técnica de diagnóstico por imágenes que utiliza radiación ionizante para obtener cortes transversales del cuerpo humano. A diferencia de la radiografía convencional, la tomografía permite reconstruir imágenes tridimensionales mediante el procesamiento computacional de múltiples proyecciones obtenidas desde diferentes ángulos alrededor del paciente. Como afirma Espitia Mendoza (2016), el proceso de adquisición de imágenes en TC se basa en la emisión de rayos X desde un tubo que rota alrededor del paciente mientras un conjunto de detectores registra la atenuación de la radiación al atravesar los tejidos. Esta información se transforma posteriormente en datos digitales que permiten reconstruir imágenes mediante algoritmos matemáticos.

Los equipos de tomografía computarizada están conformados por diversos componentes que trabajan de manera integrada para la obtención de imágenes diagnósticas. Entre los elementos principales se encuentra el tubo de rayos X, encargado de generar la radiación necesaria para el proceso de adquisición de imágenes; el sistema de detectores, cuya función es medir la radiación que atraviesa el cuerpo del paciente; el gantry o sistema de rotación, que permite el movimiento circular coordinado con el tubo de rayos X y los detectores alrededor del paciente; y finalmente el sistema computacional de reconstrucción, responsable de procesar los datos obtenidos y transformarlos en imágenes diagnósticas que pueden ser interpretadas por el personal médico.

Según Espitia Mendoza (2016), los avances tecnológicos en tomografía han permitido el desarrollo de equipos multicorte con mayor velocidad de adquisición y mejor resolución espacial, lo que ha ampliado significativamente las aplicaciones clínicas de esta modalidad diagnóstica

### **Evolución de los Modelos de Mantenimiento en Equipos Médicos**

El mantenimiento de equipos médicos ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de modelos reactivos a estrategias preventivas y predictivas orientadas a garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la tecnología médica. El mantenimiento preventivo consiste en la realización programada de inspecciones, calibraciones y revisiones técnicas, con el objetivo de reducir la probabilidad de fallos en los equipos. Este tipo de mantenimiento es ampliamente utilizado en hospitales para asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos médicos y minimizar riesgos para los pacientes. Según Vargas Serna (2023), la implementación de protocolos y listas de chequeo estructuradas permite estandarizar los procedimientos de mantenimiento preventivo, mejorar la trazabilidad de las intervenciones técnicas y fortalecer los programas de gestión de tecnología médica dentro de las instituciones hospitalarias.

En hospitales de alta complejidad, estos programas incluyen cronogramas de mantenimiento, registro de intervenciones técnicas y evaluación periódica del estado de los equipos biomédicos, lo que contribuye a mejorar la calidad del servicio y la seguridad asistencial. La falta de priorización basada en riesgo y estado funcional puede generar, tanto intervenciones innecesarias como fallas inesperadas entre ciclos programados, incrementando los costos operativos y afectando la disponibilidad del servicio. Así mismo, la literatura señala que la

ausencia de modelos predictivos incrementa la probabilidad de paradas no planificadas y eleva el gasto institucional asociado a reparaciones de emergencia (Rahman, et al., 2023).

Por tanto, la transición del mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos predictivos no es simplemente una innovación tecnológica, sino una necesidad estratégica para garantizar sostenibilidad, seguridad y excelencia en los servicios de diagnóstico por imagen.

### ***Mantenimiento Predictivo y Eficiencia Operativa***

En años recientes, el mantenimiento de equipos médicos ha incorporado enfoques más avanzados como el mantenimiento predictivo, el cual se basa en el monitoreo continuo de parámetros operativos del equipo para anticipar posibles fallos antes de que ocurran.

De acuerdo con Rosado et al., (2022), el mantenimiento predictivo permite optimizar la gestión de los equipos de imagenología mediante el análisis sistemático de indicadores técnicos y operativos. Entre los más relevantes se encuentran el MTBF (Mean Time Between Failures), que corresponde al tiempo medio entre fallos y permite estimar la confiabilidad del equipo; el MTTR (Mean Time To Repair), que representa el tiempo medio requerido para realizar una reparación; y la disponibilidad operativa de los equipos, indicador que refleja la capacidad del sistema para mantenerse en funcionamiento y brindar continuidad en la prestación del servicio diagnóstico. La aplicación de estas estrategias permite reducir tiempos de inactividad, optimizar los costos de mantenimiento y garantizar la continuidad de los servicios diagnósticos en las instituciones de salud.

En el caso específico de equipos de alta complejidad como tomógrafos, el mantenimiento predictivo adquiere especial relevancia debido al impacto que las fallas técnicas pueden tener sobre la atención clínica y la seguridad del paciente.

### **Marco Metodológico**

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, dado que se orienta al análisis e interpretación de conceptos, teorías y aportes científicos relacionados con los modelos de mantenimiento aplicados a equipos de diagnóstico por imagen. Este enfoque permite comprender de manera profunda las características, relaciones y efectos del mantenimiento en la eficiencia operativa, la vida útil de los equipos y la calidad de los estudios diagnósticos, sin recurrir a la manipulación de variables (Hernández et al., 2014).

Dicho con palabras de Arias (2012), la investigación es de tipo descriptivo–analítico, ya que, en una primera fase, se describen las características de los sistemas de mantenimiento en equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética, y posteriormente se analizan las relaciones existentes entre dichos sistemas, el deterioro de los componentes, la eficiencia operativa y la calidad diagnóstica, este tipo de investigación permite caracterizar fenómenos y establecer interpretaciones a partir del análisis de información previamente documentada.

El estudio se enmarca en un diseño documental, fundamentado en la recopilación, selección y análisis de información proveniente de fuentes secundarias. Para ello, se consultaron bases de datos académicas y científicas, repositorios institucionales y literatura especializada en el área biomédica. Entre las fuentes utilizadas se incluyen artículos científicos, trabajos de grado, documentos técnicos y normas relacionadas con el mantenimiento de equipos de diagnóstico por imagen, con énfasis en tomografía computarizada y resonancia magnética.

En cuanto a las características de la búsqueda documental, se consideraron documentos publicados principalmente en los últimos años, en idiomas español e inglés, con el fin de garantizar la actualidad y pertinencia de la información. Asimismo, se priorizaron estudios que

trataban sobre 24 modelos de mantenimiento preventivo y predictivo, eficiencia operativa, vida útil de los equipos y calidad diagnóstica.

Como parte del diseño metodológico, se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Como criterios de inclusión, se consideraron artículos científicos, trabajos académicos y documentos técnicos que presentaran relación directa con el mantenimiento de equipos de diagnóstico por imagen, especialmente en tomografía computarizada y resonancia magnética, y que tratan sobre modelos de mantenimiento, desempeño operativo y calidad de imagen. Por otro lado, como criterios de exclusión, se descartaron documentos desactualizados, sin rigor científico o que no guardaran relación con el objeto de estudio.

Las técnicas de análisis de la información fueron:

### **Análisis de Contenido**

Permitió identificar conceptos clave relacionados con los modelos de mantenimiento y su impacto en los equipos biomédicos.

### **Análisis Comparativo**

Orientado a examinar, desde la literatura, las similitudes y diferencias entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo, en función de variables como la eficiencia operativa, la vida útil y la calidad de los estudios diagnósticos. El desarrollo de la investigación se estructuró en las siguientes fases:

#### ***Fase 1 Búsqueda Documental***

Se realizó la identificación de fuentes bibliográficas en bases de datos académicas, repositorios institucionales y literatura especializada, utilizando palabras clave relacionadas con mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, equipos biomédicos, tomografía computarizada y resonancia magnética.

### ***Fase 2 Selección y Aplicación de Criterios***

En esta fase se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, con el fin de depurar la información y garantizar la calidad, pertinencia y actualidad de los documentos seleccionados.

### ***Fase 3 Organización de la Información***

La información recopilada fue clasificada en categorías temáticas, tales como sistemas de mantenimiento, componentes críticos, factores de deterioro, eficiencia operativa y calidad diagnóstica, facilitando su posterior análisis.

### ***Fase 4 Análisis de la Información***

Se realizó un análisis interpretativo y comparativo de la información, estableciendo relaciones entre los modelos de mantenimiento y su impacto en el desempeño de los equipos de diagnóstico por imagen, a partir de lo reportado en la literatura científica.

### ***Fase 5 Síntesis y Redacción***

Finalmente, se organizaron los resultados obtenidos en los diferentes apartados del documento, asegurando coherencia entre los objetivos, el marco teórico y los resultados del análisis

## **Resultados**

Los resultados de la presente revisión documental se organizaron a partir de las categorías temáticas definidas en el marco metodológico, con el propósito de interpretar críticamente la influencia de los modelos de mantenimiento sobre la eficiencia operativa, la vida útil y la calidad diagnóstica de los equipos de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). La evidencia científica revisada permite establecer que la transición del mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos de monitoreo predictivo representa una transformación significativa en la gestión tecnológica hospitalaria, debido a su capacidad para anticipar fallas, optimizar recursos técnicos y reducir interrupciones en los servicios de diagnóstico por imagen.

### **Comparación Entre Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Predictivo**

La literatura consultada evidencia que el mantenimiento preventivo continúa siendo el modelo predominante en múltiples instituciones de salud. Este enfoque se basa en intervenciones programadas según intervalos de tiempo definidos por fabricantes o protocolos institucionales, sin considerar necesariamente el estado real de los componentes del equipo. Aunque este modelo contribuye a disminuir el riesgo de fallas repentinas, diversos autores coinciden en que presenta limitaciones relacionadas con intervenciones innecesarias, incremento de costos operativos y dificultad para detectar fallas incipientes entre ciclos de mantenimiento (Vargas Serna, 2023; Moreno, 2023).

En contraste, el mantenimiento predictivo incorpora sistemas de monitoreo continuo, sensores inteligentes y análisis de datos en tiempo real para identificar patrones de desgaste antes de que las fallas se manifiesten de forma operativa. Gallab (2024), sostiene que este modelo optimiza los recursos técnicos y financieros, ya que las intervenciones se realizan únicamente

cuando los indicadores operacionales evidencian deterioro. De igual manera, Rahman et al. (2023), reporta que el mantenimiento predictivo mejora la disponibilidad de los equipos y disminuye los tiempos de inactividad no programados, favoreciendo la continuidad de los servicios hospitalarios

Asimismo, Chen et al. (2025), demostraron que los modelos basados en inteligencia artificial y aprendizaje profundo permiten estimar la vida útil de componentes críticos, como los tubos de rayos X en TC, mediante el análisis de variables operativas e históricos de funcionamiento. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Pomsar et al. (2025), quienes afirman que los sistemas predictivos facilitan la detección temprana de anomalías que no son identificadas mediante esquemas tradicionales de mantenimiento.

### **Tabla 1**

*Comparación entre Mantenimiento Preventivo y Predictivo en Equipos de Diagnóstico por Imagen*

Característica	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo	Autor/Fuente
Tipo de intervención	Programada por tiempo	Basada en condición real del equipo	Gallab et al. (2024)
Método de evaluación	Protocolos periódicos	Monitoreo continuo y análisis de datos	Rahman (2023)
Detección de fallas	Posterior o tardía	Anticipada	Pomsar et al. (2025)
Uso de inteligencia artificial	Limitado	Integrado mediante algoritmos predictivos	Chen et al. (2025)

Impacto en costos	Puede generar intervenciones innecesarias	Optimiza recursos técnicos y financieros	Gallab et al. (2024)
Tiempo de inactividad	Mayor riesgo de paradas inesperadas	Disminución de fallas no programadas	Rahman (2023)
Disponibilidad operativa	Variable	Mayor continuidad del servicio	GE HealthCare (s.f.)
Impacto en calidad diagnóstica	Riesgo de deterioro no detectado	Mayor estabilidad de parámetros técnicos	Vargas Serna et al. (2023)

*Nota.* Elaboración propia.

### Figura 1

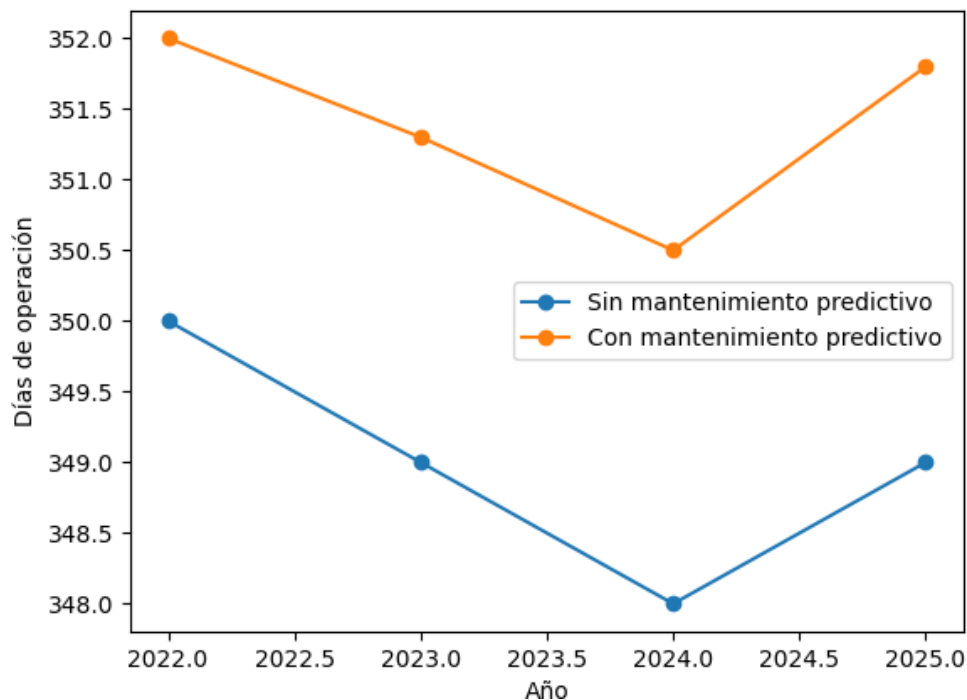
*Comparación de Modelos de Mantenimiento Preventivo vs Predictivo*



*Nota.* Elaboración propia, donde se muestra en el gráfico que el mantenimiento preventivo presenta mayores niveles de fallas inesperadas y costos operativos. El mantenimiento predictivo evidencia una mayor eficiencia operativa y una prolongación de la vida útil del equipo.

**Figura 2**

*Incremento del Tiempo de Operación Anual Mediante Mantenimiento Predictivo en Equipos Médicos*



*Nota.* Elaboración propia. Los datos representan el incremento en días de disponibilidad anual en sistemas que utilizan soluciones de mantenimiento predictivo.

Desde una perspectiva crítica, los hallazgos permiten establecer que el mantenimiento predictivo no constituye únicamente una mejora tecnológica, sino una estrategia de sostenibilidad institucional orientada a optimizar la gestión de activos biomédicos, reducir pérdidas económicas derivadas de fallas inesperadas y fortalecer la confiabilidad diagnóstica.

### **Factores de Deterioro y Componentes Críticos en TC y RM**

En relación con los factores de deterioro, la evidencia científica identifica al tubo de rayos X como uno de los componentes más críticos en los equipos de tomografía computarizada. Alajo Tarco (2021), explica que las altas cargas térmicas generadas durante la producción de

radiación aceleran el desgaste del ánodo y afectan la estabilidad del sistema, comprometiendo la emisión uniforme de radiación y la calidad de la imagen diagnóstica.

Por otra parte, en resonancia magnética, la estabilidad del magneto principal y el mantenimiento adecuado de los sistemas criogénicos constituyen factores determinantes para el funcionamiento óptimo del equipo. Campuzano Palacio (2025), señala que alteraciones en el sistema de enfriamiento y variaciones en los niveles de helio líquido afectan la homogeneidad del campo magnético, produciendo pérdida de señal, disminución del contraste y deterioro de la resolución espacial.

Los resultados revisados evidencian además que el deterioro progresivo de estos componentes se relaciona directamente con la aparición de artefactos en las imágenes diagnósticas. Ardila Gómez et al. (2024), identificaron que problemas asociados a errores de calibración, variaciones térmicas y fallas en detectores generan artefactos en anillo, ruido y distorsiones que afectan la interpretación clínica de los estudios diagnósticos.

Estos hallazgos permiten interpretar que la calidad diagnóstica no depende exclusivamente de la capacidad tecnológica de los equipos, sino también de la estabilidad de sus parámetros operativos y del monitoreo permanente de sus componentes críticos.

## **Tabla 2**

### *Relación entre Deterioro del Equipo e Impacto en la Calidad Diagnóstica*

Problema Identificado	Componente Afectado	Consecuencia Técnica	Impacto Diagnóstico	Autor/Fuente
Sobrecalentamiento	Tubo de rayos X (TC)	Incremento del ruido y pérdida de resolución	Dificultad para detectar lesiones pequeñas	Alajo Tarco (2021)

Pérdida de helio líquido	Sistema criogénico (RM)	Alteración de la homogeneidad magnética	Disminución de la relación señal-ruido	Campuzano Palacio et al. (2025)
Des calibración	Detectores TC	Artefactos en anillo	Interpretación errónea de estructuras anatómicas	Ardila Gómez et al. (2024)
Vibración mecánica	Gantry de TC	Imagen borrosa	Repetición de estudios diagnósticos	Camargo Gómez (2023)
Degradación de bobinas	Antenas RM	Bajo contraste	Menor diferenciación tisular	Ortega Daza et al. (2024)

*Nota.* Elaboración propia con base en las referencias asociadas (Alajo Tarco 2021; Campuzano Palacio et al. 2025; Ardila Gómez et al. 2024; Camargo, Gómez, 2023; Ortega Daza et al. 2024).

### **Relación entre Mantenimiento, Calidad de Imagen y Eficiencia Operativa**

La literatura revisada demuestra que existe una relación directa entre la gestión del mantenimiento y la calidad de las imágenes diagnósticas. López Ruiz (2024); Ortega Daza (2024), destacan que parámetros como la resolución espacial, el contraste y el nivel de ruido constituyen elementos esenciales para garantizar estudios diagnósticos confiables, y que cualquier alteración técnica puede comprometer la interpretación clínica.

Desde esta perspectiva, el deterioro de los equipos produce efectos significativos sobre la calidad diagnóstica. Un incremento del ruido puede ocultar lesiones de pequeño tamaño,

mientras que un contraste deficiente dificulta la diferenciación entre tejidos normales y patológicos. Ardila Gómez et al. (2024), sostienen que la presencia de artefactos puede conducir a diagnósticos erróneos y tratamientos inadecuados, afectando directamente la seguridad del paciente.

Adicionalmente, Amurao (2023), señala que los programas de aseguramiento y control de calidad permiten detectar desviaciones técnicas antes de que impacten negativamente el diagnóstico clínico, fortaleciendo la relación entre mantenimiento, desempeño operativo y confiabilidad diagnóstica.

Los hallazgos también evidencian que indicadores de gestión como el MTBF (Mean Time Between Failures) y el MTTR (Mean Time To Repair) constituyen herramientas fundamentales para evaluar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos biomédicos. Medina Peña (s.f.), afirman que una adecuada gestión del mantenimiento disminuye los tiempos de inactividad y mejora la continuidad del servicio radiológico.

En este mismo sentido, GE HealthCare (s.f.), reporta que la implementación de sistemas predictivos puede reducir significativamente el tiempo de inactividad no programado, incrementando la disponibilidad anual de los equipos y favoreciendo la eficiencia operativa de los servicios de diagnóstico por imagen.

### **Uso de Inteligencia Artificial y Desafíos de Implementación**

Otro hallazgo relevante corresponde al papel de la inteligencia artificial en la optimización de la gestión tecnológica hospitalaria. Desde el punto de vista de Acosta Vergara, (2025), se identifica que algoritmos avanzados permiten mejorar parámetros relacionados con la calidad de imagen, optimizando indicadores técnicos como SNR, PSNR y SSIM en sistemas de TC y RM.

No obstante, aunque la evidencia científica demuestra beneficios importantes, la implementación de modelos predictivos aún presenta limitaciones estructurales. Gallab (2024); Reynés-Llompart (2022), coinciden en que múltiples instituciones hospitalarias continúan operando bajo modelos preventivos tradicionales debido a barreras relacionadas con costos de implementación, falta de capacitación especializada y limitada integración de herramientas de análisis de datos.

Con base en Rosado, et al. (2022), también reporta que, en diversos hospitales, el mantenimiento predictivo aún no recibe la importancia necesaria y que muchas instituciones continúan dependiendo principalmente de cronogramas preventivos y experiencia empírica para la gestión técnica de los equipos biomédicos.

Desde una interpretación crítica, estos resultados reflejan que la transición hacia modelos predictivos no depende únicamente del desarrollo tecnológico, sino también de factores administrativos, económicos y organizacionales que condicionan su aplicación en el sector salud.

### **Interpretación General de los Hallazgos**

En conjunto, los resultados permiten responder a la pregunta de investigación planteada, evidenciando que la transición del mantenimiento preventivo tradicional hacia modelos predictivos influye positivamente en la extensión de la vida útil y la eficiencia operativa de los equipos de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética.

La evidencia científica revisada demuestra que el monitoreo continuo, el análisis de datos y la inteligencia artificial permiten detectar anomalías tempranas, prevenir fallas catastróficas y optimizar la disponibilidad de los sistemas de diagnóstico por imagen. Del mismo modo, se confirma que un adecuado mantenimiento contribuye directamente a preservar parámetros

técnicos esenciales para garantizar imágenes diagnósticas de calidad, disminuyendo la aparición de artefactos, repeticiones de estudios y riesgos asociados a errores diagnósticos.

No obstante, también se identificó una brecha importante entre el avance tecnológico y su implementación práctica en entornos hospitalarios, especialmente en instituciones con limitaciones económicas y baja integración digital. Por esta razón, la transición hacia modelos predictivos debe entenderse no solo como una innovación técnica, sino como una necesidad estratégica orientada a fortalecer la sostenibilidad operativa, la seguridad del paciente y la excelencia diagnóstica en los servicios de radiología.

## Análisis Internacional

### Perspectivas Globales del Mantenimiento Predictivo en Equipos de Tomografía

#### Computarizada y Resonancia Magnética

El mantenimiento predictivo en equipos de diagnóstico por imagen se ha convertido en una tendencia internacional dentro de los servicios de radiología, debido a la necesidad de garantizar continuidad operativa, seguridad del paciente y calidad diagnóstica. Diferentes países han avanzado en la implementación de tecnologías basadas en inteligencia artificial, monitoreo remoto y análisis de datos para optimizar el rendimiento de equipos de tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM). Sin embargo, el nivel de adopción depende de factores como la infraestructura tecnológica, la inversión en salud y la capacitación del personal biomédico.

**Tabla 3**

*Tendencias del Mantenimiento Predictivo a Nivel Internacional*

País	Abordaje del mantenimiento predictivo en radiología	Tendencias y avances	Desafíos identificados
Estados Unidos	En este país, empresas como GE HealthCare han implementado plataformas de monitoreo predictivo como <i>OnWatch Predict</i> , las cuales permiten supervisar en tiempo real el estado operativo de	Se evidencia un fuerte desarrollo de tecnologías de monitoreo remoto, integración de inteligencia artificial y automatización de procesos de mantenimiento. Además, se ha fortalecido la tele-	Los principales retos se relacionan con los altos costos de implementación tecnológica y la necesidad de actualización constante de software y sistemas digitales.

---

	equipos de TC y RM. Estas herramientas utilizan inteligencia artificial y análisis de datos para anticipar fallas antes de que afecten la prestación del servicio.	radiología para mejorar la continuidad diagnóstica (HealthCare, s.f.); (García et al., 20123).	
Alemania	Alemania ha sido uno de los países pioneros en el desarrollo de equipos avanzados de resonancia magnética. Desde los primeros prototipos clínicos desarrollados por Siemens, el país ha promovido estrategias de mantenimiento enfocadas en garantizar estabilidad operativa y alta calidad diagnóstica (Grätz, , 2020)	Existe una amplia integración de innovación tecnológica, mantenimiento especializado y monitoreo continuo de componentes críticos como sistemas criogénicos y bobinas de gradiente.	Uno de los desafíos más importantes es el elevado costo de mantenimiento de equipos superconductores y la dependencia de helio líquido para garantizar el funcionamiento adecuado de los resonadores magnéticos.
Colombia	En Colombia, el mantenimiento de equipos biomédicos continúa orientándose principalmente hacia modelos preventivos	Se observa interés creciente por fortalecer la gestión tecnológica hospitalaria y optimizar la	Persisten limitaciones relacionadas con infraestructura tecnológica, capacitación especializada y

---

---

<p>tradicionales. Sin embargo, investigaciones recientes desarrolladas en universidades y hospitales han comenzado a explorar la incorporación del mantenimiento predictivo mediante inteligencia artificial y monitoreo continuo (Rosado R et al., 2022)</p>	<p>disponibilidad de equipos biomédicos. También se han desarrollado estudios sobre control de calidad y detección de artefactos en TC y RM (Gómez et al., 2024).</p>	<p>recursos económicos para implementar modelos predictivos de forma masiva en las instituciones de salud (Gallab, 2024).</p>
---	---	---

---

*Nota.* Elaboración propia a partir de la revisión de literatura científica sobre mantenimiento predictivo, inteligencia artificial, IoT y gemelos digitales aplicados a equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética en diferentes países

### **Análisis Comparativo**

A nivel internacional, se evidencia que los países con mayor desarrollo tecnológico, como Estados Unidos y Alemania, han logrado integrar herramientas de inteligencia artificial, monitoreo remoto y análisis de datos en la gestión del mantenimiento de equipos de radiología. Estas estrategias han permitido reducir tiempos de inactividad, optimizar recursos y mejorar la calidad diagnóstica.

Por otro lado, en países como Colombia aún predominan modelos preventivos tradicionales, aunque existe un interés creciente por migrar hacia sistemas predictivos apoyados

en tecnologías digitales. No obstante, factores económicos, administrativos y tecnológicos continúan representando una barrera importante para su implementación total.

En conclusión, las tendencias globales muestran que el mantenimiento predictivo representa el futuro de la gestión tecnológica en radiología, ya que fortalece la eficiencia operativa, prolonga la vida útil de los equipos y contribuye a garantizar diagnósticos más seguros y confiables para los pacientes.

## Conclusiones

El análisis de la evidencia documental, en conjunto con los resultados obtenidos en la presente investigación, permite concluir que la transición del mantenimiento preventivo hacia modelos de mantenimiento predictivo influye de manera significativa en la extensión de la vida útil de los equipos de tomografía computarizada y resonancia magnética. Tal como se evidenció en la síntesis comparativa presentada, el mantenimiento predictivo permite intervenir los equipos en función de su condición real, lo que contribuye a evitar el deterioro progresivo de componentes críticos de alto costo, como el tubo de rayos X o el sistema criogénico (Alajo Tarco, 2021; Campuzano Palacio, 2025).

Asimismo, los resultados mostraron que la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo favorece la continuidad del servicio, al reducir las paradas no programadas y mejorar la disponibilidad de los equipos. En particular, se evidenció un incremento aproximado de entre 2 y 3 días adicionales de operación anual en sistemas que emplean este enfoque, lo cual respalda la mejora en la eficiencia operativa y en la capacidad de respuesta de las instituciones de salud (Abd Rahman et al., 2023; GE HealthCare, s.f.).

En relación con la confiabilidad de los equipos, los hallazgos también indican que indicadores como el MTBF (tiempo medio entre fallas) tienden a incrementarse, mientras que el MTTR (tiempo medio de reparación) se reduce bajo esquemas de mantenimiento predictivo, lo que evidencia una mejora en la gestión técnica y en la reducción de tiempos de inactividad (Rosado et al., 2022). Este comportamiento se relaciona directamente con los resultados obtenidos, donde se identificó una disminución en la ocurrencia de fallas inesperadas y una optimización en los costos operativos.

Por otra parte, en términos de calidad diagnóstica y seguridad del paciente, se concluye que un mantenimiento basado en la condición real de los equipos garantiza la estabilidad de los parámetros técnicos de funcionamiento. Esto permite minimizar la presencia de artefactos en las imágenes y asegurar estudios más precisos y confiables, fortaleciendo la toma de decisiones clínicas (Camargo Gómez, et al., 2023; Ardila Gómez et al., 2024).

No obstante, a pesar de los beneficios evidenciados tanto en la literatura como en los resultados del presente estudio, se identifican limitaciones importantes en la implementación del mantenimiento predictivo. Persisten barreras relacionadas con la infraestructura tecnológica, la integración de sistemas de análisis de datos y la resistencia al cambio desde modelos tradicionales de mantenimiento preventivo, (Moreno, 2023; Vargas Serna, 2023).

Finalmente, se concluye que el mantenimiento predictivo no solo representa una evolución técnica en la gestión del mantenimiento biomédico, sino que constituye una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa, la sostenibilidad financiera y la calidad del servicio en las instituciones de salud. La evidencia analizada y los resultados obtenidos en esta investigación confirman que su implementación contribuye significativamente a la optimización de recursos, la reducción de costos asociados a fallas inesperadas y la mejora en la disponibilidad de equipos de diagnóstico por imagen, posicionándolo como un elemento fundamental para el fortalecimiento de los servicios de radiología (Rosado et al., 2022).

En consecuencia, avanzar hacia paradigmas de mantenimiento apoyados en inteligencia artificial y monitoreo continuo representa un paso fundamental para alcanzar mayores estándares de calidad y excelencia en el servicio de radiología e imágenes diagnósticas.

## Referencias

- GE HealthCare. (n.d.). *OnWatch Predict*. GE HealthCare: <https://www.gehealthcare.com/en-us/services/digital-solutions/onwatch-predict>
- Acosta Vergara, A. C. (2025). *Limitaciones en la mejora de calidad de imágenes en TC y RM por la subutilización de algoritmos de IA*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/69138>
- Alajo Tarco, M. V. (2021). *Estudio de la generación de la radiación en un tubo de rayos X y la propagación en un paciente*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15451>
- Aminatul Abdul, A. (2025). *Mejora del mantenimiento predictivo de equipos médicos mediante monitorización de estado basada en IA*. Springer – Advances in Healthcare Engineering: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-9294-8\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-9294-8_4)
- Amurao, M. G. (2023). *Quality management, quality assurance, and quality control in medical physics*. Journal of Applied Clinical Medical Physics: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/acm2.13885>
- Ardila Gómez, D. G., Ayala Castro, C. A., & Rodríguez Gómez, N. C. (2024). *Mala calidad de las imágenes de tomografía computarizada y resonancia magnética ocasionado por artefactos y artificios*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62923>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. *Episteme*. [https://www.academia.edu/37009279/El\\_proyecto\\_de\\_investigaci%C3%B3n\\_Fidias\\_G\\_Arias](https://www.academia.edu/37009279/El_proyecto_de_investigaci%C3%B3n_Fidias_G_Arias)

- Camargo Gómez, D. P., Benavides Beltrán, E. A., & García Contreras, N. S. (2023). *Artefactos y artificios en tomografía computada*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60195>
- Campuzano Palacio, J. (2025). *Metodología de mantenimiento predictivo para la prevención de fallas en equipos de resonancia magnética en el Hospital Universitario Fundación Valle del Lili*. UNAD / EBSCO: <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/qcagk4/search/details/xjszyz45zn?limiters=None&q=mantenimiento%20predictivo%20de%20resonancia%20magnetica&searchMode=all>
- Cataño Ospina, G. (2021). *Publicación: Plan de mejora para la gestión de la tecnología de equipos biomédicos en la empresa Saludtrec S.A.S.* <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/challenge>
- Chen, Z., Liu, Y., Qin, Z., Li, H., Xie, S., Fan, L., . . . Huang, J. (2025). Dual-Branch Deep Learning with Dynamic Stage Detection for CT Tube Life Prediction. *Medical Imaging and Deep Learning Journal (según Semantic Scholar)*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusId:280529643>
- Espitia Mendoza, O. J. (2016, 01 01). *Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual*. Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a10>
- Gallab, M. (2024). *Hacia un mantenimiento predictivo digital (MPD): estudio de caso en el sector sanitario*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924003120>
- García, A., Isaza, J. F., Zapata, U., & Roldán, S. (20123). Ejecución de un sistema piloto de tele-radiología en Medellín, Colombia. *Universidad del Valle. Biblioteca digital*.

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/25026ee7-0803-47f1-8faa-0587325585c2>

García, A., Isaza, J. F., Zapata, U., & Roldán, S. (2013, 09 20). *Ejecución de un sistema piloto de tele-radiología en Medellín, Colombia.*

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/25026ee7-0803-47f1-8faa-0587325585c2>

Gomez, L. (2023). *Trabajo practico N° 4. Mantenimiento y reparación de equipos.:*

<https://es.scribd.com/document/707456927/Trabajo-Mantenimiento>

Grätz, , P. G. (2020). *Siemens Healthineers. Resonancia magnética: el largo camino hasta el paciente.:* <https://www.siemens-healthineers.com/en-th/news/history-of-mri>

Grätz, P. G. (2020, 11 19). *Resonancia magnética: el largo camino hasta el paciente.*

<https://www.siemens-healthineers.com/en-th/news/history-of-mri>

HealthCare, G. (s.f.). *OnWatch Predict. GE HealthCare:* <https://www.gehealthcare.com/en-us/services/digital-solutions/onwatch-predict>

HenaO Ossa, Y. (2021). *Evaluación y determinación de estrategias para mitigar la obsolescencia de los equipos biomédicos en las áreas de cirugía, ayudas diagnósticas y radiología de la clínica Cardio VID.*

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/cef4e8e2-ca82-4746-b5ff-1f7bc29ce005/content>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación.*

<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

- Hwang, J.-H. K.-B.-K.-B.-K. (2022). Clinical application of the optimized X-ray parameter model. *Journal of X-Ray Science & Technology*, pp. <https://doi.org/10.3233/XST-221254>.
- ISO. (2016). *Requisitos para fines reglamentarios*. Sistemas de gestión de calidad: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:13485:ed-3:v1:en>
- López Ruiz, J. C. (2024). *Impacto de la resolución espacial en la calidad de la imagen digital en el diagnóstico radiológico en TC y RM*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65682>
- Medina Peña, C. P. (n.d.). *Tiempos críticos en radiología digital: impacto de las fallas de equipos en la eficiencia del servicio*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/78131>
- Moreno, E. O. (2023). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para equipos industriales de uso hospitalario en la Subred Integrada de Servicios de Salud Centro Oriente ESE Bogotá*. ECCI – Repositorio Institucional: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstreams/2bb3467d-72f2-4cda-b92f-5785eb1375b3/download>
- OMS. (2026). *Evaluación de tecnologías de salud*. Trabajo de OPS en ETS, organización panamericana de la salud.: <https://www.paho.org/es/temas/evaluacion-tecnologias-salud>
- Ortega Daza, J. J. (2024). *Fundamentos de la calidad de imagen en radiología digital*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65576>
- Petroianu, L. P., Li, L., Mieloszyk, R. J., Mastrangelo, C. M., Stapleton, S., & Hall, C. (2024, 03). *Análisis de archivos de registro de resonancia magnética para mejorar el flujo de*

- trabajo*. [https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/S0363018823001585?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=sge#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20los%20datos,y%20extensibles%20a%20otros%20centros.](https://www-sciencedirect-com.translate.goog/science/article/abs/pii/S0363018823001585?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20los%20datos,y%20extensibles%20a%20otros%20centros.)
- Pomsar, L. e. (2025). *lasificación de fallos en tubos de rayos X: Sistema de mantenimiento predictivo de TC basado en IA*.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13682199.2025.2470485>
- Promedico. (2024, 12 16). *Estrategias para mejorar el rendimiento de equipos de diagnóstico por imagen*. <https://www.promedco.com/noticias/estrategias-para-maximizar-el-rendimiento-de-equipos-de-diagnostico>
- Rahman, N. H., Mohamad Zaki, M. H., Hasikin, K., & Abd Razak, N. A. (2023, 04 03). Predicting medical device failure: A promise to reduce healthcare facilities cost through smart healthcare management. *PeerJ Computer Science*, p. 1279. PeerJ Computer Science: <https://api.semanticscholar.org/CorpusId:257948269>
- Reynés-Llompart, G. Z. (2022). *Control de calidad en PET/CT y PET/MRI: encuesta entre países europeos*. *Physica Medica*: [https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797\(22\)01978-0/abstract](https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797(22)01978-0/abstract)
- Rodríguez Morocho, G. A. (2024). *Plan de gestión gerencial para implementación de un sistema de calidad al mantenimiento de equipos médicos del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín*. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/16028>
- Rosado, R., Bardales, I., Suguiyama, T., & Ramos Tenorio, C. M. (2022). *Mantenimiento Predictivo en Equipos Médicos de Imagenología: Una revisión de estrategias y procedimientos*. UNITEC / CONICIETI:

<https://www.unitec.edu/conicieti/poster/mantenimiento-predictivo-en-equipos-medicos-de-imagenologia-una-revision-de-estrategias-y-procedimientos/>

Rosado, R., Bardales, I., Suguiyama, T., & Ramos Tenorio, C. M. (2022). *UNITEC*.

Mantenimiento Predictivo en Equipos Médicos de Imagenología: Una revisión de estrategias y procedimientos. : <https://www.unitec.edu/conicieti/poster/mantenimiento-predictivo-en-equipos-medicos-de-imagenologia-una-revision-de-estrategias-y-procedimientos/>

Segovia Borda, M. L. (2024). *Producción de rayos x, tubos de rayos x, y factores que afectan la emisión de rayos x*. Repositorio Digital UMSS:

[http://ddigital.umss.edu/bitstream/123456789/48049/1/MONOGRAFIA\\_SEGOVIA%20BORDA%20MARCELA%20LIA.pdf](http://ddigital.umss.edu/bitstream/123456789/48049/1/MONOGRAFIA_SEGOVIA%20BORDA%20MARCELA%20LIA.pdf)

Subias, J. C., & Jerez, J. (2015). *Resonancia magnetica dirigida a tecnicos superiores en imagen para el diagnostico*. ESPAÑA: ELSEVIER.

<https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=BPDEEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=resonancia+magnetica+dirigida+a+tecnicos+superiores+en+imagen+para+el+diagnostico&ots=75m8S2fD-H&sig=CeOdC6FQxOchlW-zOQVvWWTtBlk>

Valladares, A. A. (2019). *Clinically valuable quality control for PET/MRI systems*. *Frontiers in Physics*: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2019.00136/full>

Vargas Serna, J. D. (2023). *Publicación: Diseño, implementación y actualización de protocolos y listas de chequeo de mantenimiento preventivo en el programa de gestión de equipo médico del Hospital Pablo Tobón Uribe*.

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/615a7f56-6437-4998-8360-9214b0aaeff7>

