

Sostenibilidad en imágenes radiológicas: una evaluación comparativa

Abel Hernán Rodríguez Orozco

Graciela Cachaya Girón

MaríaYineth Jojoa Garzón

Miguel Ángel Rojas

Jesús David Rivera cometa

Asesor

Edna Rocío Jamaica Guio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud (ECISA)

Técnico en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2025

Resumen

Con este documento se pretende comparar la relación existente entre los costos de operación de las tecnologías radiológicas, específicamente, la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) con la sostenibilidad, esta última, en términos de impacto ambiental debido al consumo energético. Se desarrolla mediante la revisión bibliográfica consultando las bases de datos científicas (PubMed, ScienceDirect y Google Scholar), con enfoque cualitativo, considerando criterios de impacto ambiental, costos de operación y consumo energético. Los resultados permitieron identificar las tendencias de sostenibilidad aplicadas a la radiología médica tomando como referencia la experiencia de instituciones nacionales e internacionales que han evolucionado hacia modelos de operación más sostenibles. Finalmente, se propusieron recomendaciones orientadas a la planificación institucional que optimice la gestión de los recursos para que el sistema de salud sea más eficiente y ambientalmente responsable. Este análisis busca demostrar que la sostenibilidad en radiología no solo es posible, sino esencial para un sistema de salud eficiente y comprometida con el futuro del planeta.

Palabras clave: Sostenibilidad, Impacto Ambiental, Tomografía Computarizada (TC), Resonancia Magnética (RM)

Abstract

This document aims to compare the relationship between the operating costs of radiological technologies, specifically computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI), and sustainability, the latter in terms of environmental impact due to energy consumption. It is developed through a literature review consulting scientific databases (PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar), using a qualitative approach and considering criteria of environmental impact, operating costs, and energy consumption. The results allowed for the identification of sustainability trends applied to medical radiology, drawing on the experience of national and international institutions that have evolved toward more sustainable operating models. Finally, recommendations are proposed for institutional planning that optimizes resource management, making the healthcare system more efficient and environmentally responsible. This analysis seeks to demonstrate that sustainability in radiology is not only possible but essential for an efficient healthcare system committed to the future of the planet.

Keywords: Sustainability, Environmental Impact, Computed Tomography (CT), Magnetic Resonance Imaging (MRI)

Tabla de contenido

Introducción	7
Justificación.....	9
Planteamiento del problema.....	10
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Marco teórico	13
Desarrollo Sostenible y el Sector Sanitario.....	13
Triple Bottom Line (TBL): Economía, Ambiente y Sociedad.....	14
Criterios de Sostenibilidad en la Adquisición y Operación de Tecnología Médica.....	15
Impacto Ambiental: Huella de Carbono y Gestión de Residuo	16
Consumo Energético y Eficiencia Operacional.....	17
Tecnologías de Adquisición de Imágenes y Clasificación Técnica	17
Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA) en Equipos Radiológicos	19
Marcos Normativos y Prácticas Sostenibles en Radiología	20
<i>Radiología Verde (Green Radiology)</i>	20
Experiencias Internacionales Relacionadas con la Sostenibilidad en Radiología.....	20
Tendencias Reportadas en la Literatura para Promover Prácticas Sostenibles en el Uso de Tecnologías Radiológicas.....	21

Metodología	23
Técnicas de recolección de la información y de análisis.....	23
Fases y Actividades.....	23
Resultados	25
Criterios de Sostenibilidad Aplicados en Estudios Previos Sobre Radiología Médica, Considerando Marcos Normativos y Teóricos Internacionales.....	25
Principales Tecnologías de Adquisición de Imágenes Radiológicas Utilizadas Actualmente en la Práctica Clínica.....	26
Buenas Prácticas y Experiencias Internacionales Relacionadas con la Sostenibilidad en Radiología.	28
Recomendaciones y tendencias reportadas en la literatura para promover prácticas sostenibles en el uso de tecnologías radiológicas.	29
Conclusiones	31
Referencias	33

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Criterios de Sostenibilidad</i>	25
Tabla 2 <i>Principales Tecnologías de Adquisición de Imágenes Radiológicas</i>	27

Introducción

La práctica médica se ha beneficiado en los últimos años debido a la incorporación de avances tecnológicos, siendo la radiología una de los más favorecidos puesto que contribuyen con la calidad en la toma de imágenes, necesarias para facilitar el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades (Meléndez López, et al. 2020). El crecimiento de la demanda de estudios de imagenología y para este caso la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) ha sido exponencial en las últimas décadas, impulsado por el aumento de la esperanza de vida, la prevalencia de enfermedades crónicas y la ampliación en el acceso a servicios de salud (Bastarrika, 2007). Los sistemas de adquisición de imágenes radiológicas han pasado de tecnologías analógicas a digitales, lo que ha permitido una mayor precisión diagnóstica, optimización de tiempos y reducción de errores clínicos, estos beneficios también se acompañan de retos significativos en términos de consumo energético, generación de residuos electrónicos y altos costos de mantenimiento y operación.

Con el auge de los avances tecnológicos también surge la necesidad de reflexionar sobre la sostenibilidad de los equipos empleados, en este sentido, la sostenibilidad se convierte en un eje estratégico para las instituciones de salud. Por tratarse de uno de los sectores que más energía consume y, a la vez, uno de los que mayor impacto ambiental genera, lo que exige repensar la forma en que se implementan y gestionan las tecnologías médicas. Evaluar las imágenes radiológicas desde una perspectiva integral que abarque el impacto ambiental, el costo operativo y la eficiencia energética no solo es pertinente, sino necesario para orientar decisiones que equilibren la innovación tecnológica con la responsabilidad social y ambiental (Forética, 2025).

El presente trabajo se propone realizar una evaluación comparativa de la sostenibilidad en imágenes radiológicas, específicamente en la Tomografía Computarizada (TC) y la Resonancia Magnética (RM), con el fin de aportar información que permita comprender el impacto de las tecnologías utilizadas y contribuir a la construcción de criterios para una gestión más eficiente y responsable en el ámbito de la salud.

Justificación

El presente trabajo se centra específicamente en el análisis de la sostenibilidad en tecnologías de adquisición de imágenes diagnósticas, con énfasis en la Tomografía Computarizada (TC) y la Resonancia Magnética (RM). Aunque existen otras modalidades de imagen médica, estas se abordan únicamente de manera contextual y comparativa, con el fin de reforzar el análisis principal enfocado en TC y RM, manteniendo coherencia en el alcance del estudio. Por ende, la utilización de equipos biomédicos en estas modalidades demandan un alto consumo de energía generando un impacto ambiental y económico el cual es asociado a la implementación y operación de la tecnología en el sector salud las consecuencias en costos de mantenimiento significativos plantean retos importantes para las instituciones que prestan servicios de salud en términos de eficiencia y gestión responsable de recursos, por lo tanto, con este trabajo se justifica la necesidad de ampliar el conocimiento académico sobre sostenibilidad en radiología, con la planificación estratégica aplicada en el sector salud se obtiene el potencial para ofrecer recomendaciones que promuevan un equilibrio entre la innovación tecnológica, la eficiencia económica y la responsabilidad ambiental.

Con este documento se pretende hacer un análisis comparativo, a través de una revisión bibliográfica, para visibilizar criterios de sostenibilidad consolidando información relevante en la gestión institucional, con ello se busca identificar tendencias de buenas prácticas que han contribuido en la toma de decisiones que fomentan de inversión tecnológica considerando alternativas responsables con el medio ambiente y más sostenibles en el tiempo, para ello se toman como referencia casos de éxito a nivel nacional e internacional.

Planteamiento del problema

Tecnologías como la tomografía computarizada y la resonancia magnética, aunque indispensables para garantizar diagnósticos oportunos y de calidad, representan un alto consumo energético y requieren inversiones considerables en operación y mantenimiento. El incremento en la demanda de estudios de diagnóstico por imágenes ha generado una presión creciente sobre los sistemas de salud y sobre los recursos que estos requieren para su funcionamiento. A ello se suma la generación de residuos tecnológicos derivados de la rápida obsolescencia de los equipos, lo que plantea un desafío adicional en materia ambiental.

La literatura científica existente se ha enfocado principalmente en la eficacia clínica y la precisión diagnóstica de las tecnologías radiológicas, dejando en un segundo plano el análisis de sus implicaciones en sostenibilidad. Si bien algunos estudios han abordado los costos de operación, la integración de variables como impacto ambiental, consumo energético y economía de mantenimiento sigue siendo limitada. Esta falta de análisis integral impide a las instituciones de salud contar con información suficiente para orientar sus decisiones de inversión tecnológica hacia opciones más sostenibles (McKee et al. 2024). Los avances tecnológicos en radiología no deben avanzar sin una visión estratégica que equilibren la innovación y la sostenibilidad.

La apuesta por sistemas de salud más responsables con el medio ambiente exige evaluar de manera comparativa las tecnologías disponibles, considerando no solo su aporte al sector salud, sino también los efectos colaterales que producen en términos ambientales y económicos. Por lo anterior, surge la necesidad de responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de la implementación de tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas en términos ambientales, costo operativo y consumo energético?

Abordar esta interrogante permitirá generar un marco de referencia útil para las instituciones de salud, al proporcionar criterios de análisis que fortalezcan la toma de decisiones y promuevan una práctica radiológica más sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Comparar a través de una revisión bibliográfica, la sostenibilidad de las tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas específicamente la Tomografía Computarizada (TC) y la Resonancia Magnética (RM), considerando los aspectos de impacto ambiental, costos de operación y consumo energético.

Objetivos Específicos

Describir los criterios de sostenibilidad aplicados en estudios previos sobre radiología médica, considerando marcos normativos y teóricos internacionales.

Identificar las principales tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas utilizadas actualmente en la práctica clínica (ej. tomografía computarizada, resonancia magnética, etc.).

Mencionar buenas prácticas y experiencias internacionales relacionadas con la sostenibilidad en radiología.

Proponer recomendaciones y tendencias reportadas en la literatura para promover prácticas sostenibles en el uso de tecnologías radiológicas.

Marco Teórico

La radiología ocupa un papel importante y constituye una de las áreas clínicas con mayor dinamismo tecnológico y, al mismo tiempo, una de las que genera un impacto considerable por modalidades como la Tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM) representan pilares fundamentales en el diagnóstico médico, sin embargo, generan desafíos por el consumo energético, huella de carbono y la generación de residuos. De allí la necesidad de migrar a modelos sostenibles.

El marco teórico de este trabajo se ha estructurado en los siguientes apartados: desarrollo sostenible y el sector sanitario; el enfoque de línea (TBL); criterios de sostenibilidad en la adquisición y operación de tecnología médica; impacto ambiental; consumo energético y eficiencia operacional; costos de ciclo de vida; tecnologías de adquisición de imágenes y clasificación técnica; marcos normativos y prácticas sostenibles en radiología.

Desarrollo Sostenible y el Sector Sanitario

El desarrollo sostenible en el sector sanitario implica la provisión de servicios de salud que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. En este contexto, los servicios de diagnóstico por imágenes representan un reto significativo debido a su alto consumo energético, generación de residuos y dependencia de tecnologías complejas como lo menciona Gómez (2025):

Los departamentos de radiología son altamente dependientes de recursos energéticos, especialmente en los servicios de urgencias que operan 24 horas del día. La sostenibilidad en estos servicios implica, implementar prácticas que reduzcan el impacto ambiental sin arriesgar la calidad de la imagen o la claridad del diagnóstico médico. (pág. 15)

Por eso surge la necesidad de reducir la huella ambiental relacionada al consumo de energía y a los residuos generados durante el procesamiento de imágenes. A esto se suma el progreso en la capacidad energética en el área de la salud.

Triple Bottom Line (TBL): Economía, Ambiente y Sociedad

Este enfoque permite evaluar la sostenibilidad desde tres dimensiones interrelacionadas: económica, ambiental y social. En radiología, este enfoque se refleja en la optimización de costos operativos, la reducción del impacto ambiental de los equipos y la garantía de servicios seguros y eficientes para pacientes y profesionales de la salud. (Vargas Muñoz, 2025)

El objetivo número siete, de los adoptados por las Naciones Unidas enfatiza en la necesidad de invertir en energía asequible y no contaminante este reto se ha planteado como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, protegiendo el planeta al disminuir la emisión de gases invernaderos (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2025).

La misión de las instituciones de salud es prevenir y curar las enfermedades, eso implica un compromiso especial con la preservación de las condiciones climáticas, paradójicamente la prestación de los servicios en muchas ocasiones genera un impacto negativo sobre el ambiente, debido al uso de tecnologías y los residuos que generan derivado de sus actividades. De allí nace la necesidad de crear la Red Global de Hospitales verdes. “A nivel global, el sector salud es responsable del 4,4% de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que lo situaría como el quinto mayor emisor” (Olivé & Sanhueza, 2025, pág. 365) debido al uso de equipos eléctricos y electrónicos, incluido los sistemas de aires acondicionados, las unidades de cuidados intensivos generadora del doble de residuos, los procesos de esterilización, los fármacos, la generación de residuos peligrosos son algunos de las causas responsables de contaminación.

Según Restrepo Guerrero & Rodríguez López (2020):

Esta iniciativa ha llevado que a nivel mundial se contara a principios del 2019 con 1.179 miembros, que representan el interés de 36.000 instituciones de salud en 55 países. Por su parte, América Latina cuenta con 767 miembros de 13 países que representan 2.250 instituciones de salud. (pág. 15)

El propósito del hospital verde es el de promover la salud, inculcando condiciones de salubridad pública con un adecuado manejo para reducir el impacto ambiental. (Jarol, 2023)

Criterios de Sostenibilidad en la Adquisición y Operación de Tecnología Médica

La adquisición de tecnología médica sostenible requiere considerar no solo el costo inicial, sino también aspectos como eficiencia energética, durabilidad, mantenimiento, actualización tecnológica y gestión al final de la vida útil. Estos criterios son especialmente relevantes en equipos de TC y RM, debido a su complejidad técnica y alto impacto ambiental.

La literatura evidencia que los departamentos de radiología son altamente dependientes de los recursos energéticos, especialmente en áreas como urgencias que están en funcionamiento las 24 horas del día, los siete días de la semana. Utilizando placas de fosforo, que se degradan por el uso, el manejo, rayones, lo que implica un residuo electrónico. Por otro lado, la radiología digital utiliza detectores planos, fijos o móviles que no requieren placas intercambiables, lo que reduce la cantidad de materiales consumibles y la necesidad de residuos continuos de placas.

Como resultado de un estudio de revisión sistemática que indago sobre el desarrollo sostenible en empresas colombianas y del mundo, Bossa Benavidez et al. (2023), destacan: Las organizaciones miden la parte ambiental de sus sistemas de gestión, utilizándola como beneficio económico dentro de su planeación estratégica. Además, en 8 artículos (8.4%) el entorno empresarial mide solamente la responsabilidad social corporativa, teniendo en cuenta

aspectos productivos generales como el beneficio económico, la tecnología, los recursos de entradas y salidas de los procesos, el compromiso corporativo, los procesos de innovación y la gestión organizacional y de control. (pág. 11)

Este resultado permite observar como la gestión sostenible sirve de herramienta para la toma de decisiones y la importancia de incluirla dentro de la planificación estratégica empresarial con el propósito de analizar costos, medir impacto y demostrar el aporte responsable con la sociedad y el medio ambiente.

Impacto Ambiental: Huella de Carbono y Gestión de Residuos

Los servicios de radiología contribuyen de manera significativa a la huella de carbono institucional, principalmente por el consumo eléctrico continuo y la generación de residuos electrónicos. En el caso de la TC y la RM, este impacto se intensifica por el uso de sistemas de refrigeración, consumibles y componentes de alta tecnología.

Los principales factores que determinan la huella ambiental de TC y RM incluyen: el consumo energético elevado, especialmente en resonancia magnética debido al funcionamiento continuo del sistema magnético y de refrigeración; los residuos electrónicos, derivados del mantenimiento, reparación o reemplazo de componente utilizados en la toma de exámenes; necesidades de climatización, puesto que la TC y la RM requieren ambientes controlados para asegurar de la calidad de imagen; y la vida útil de los equipos, lo cual genera desechos de los equipos obsoletos.

La incorporación de prácticas sostenibles en salud permite reducir los costos operativos, sino también optimizar recursos y mejorar el impacto ambiental. Benavidez et al. (2023) Destacan que “las organizaciones utilizan la gestión sostenible como herramienta estratégica para medir costos, analizar impacto y fortalecer el compromiso social y ambiental (pág. 11).

Las tendencias actuales apuntan a una transición hacia modalidades de diagnóstico por imagen más eficientes y amigables con el medio ambiente, en este proceso se destaca la modulación de consumo energético mediante sistemas de gestión inteligente, la optimización de protocolos en TC y RM que reduzcan los tiempos de adquisición y la reducción de repetición de estudios gracias a las mejoras en la calidad de las imágenes y por supuesto, decisiones estratégicas por la implementación de políticas institucionales orientadas a la gestión integral de residuos electrónicos.

Consumo Energético y Eficiencia Operacional

La resonancia magnética se caracteriza por un consumo energético constante, incluso en periodos de inactividad, mientras que la tomografía computarizada presenta picos de consumo durante la adquisición de estudios. La implementación de protocolos optimizados y tecnologías energéticamente eficientes resulta clave para mejorar la sostenibilidad operacional.

Tecnologías de Adquisición de Imágenes y Clasificación Técnica

Las tecnologías de imagen diagnóstica se clasifican según el tipo de energía utilizada: por un lado, las tecnologías basadas en radiación ionizante: Tomografía Computarizada y Rayos X. Siendo la TC el foco principal de este estudio.

Y las tecnologías no ionizantes: Resonancia Magnética y Ultrasonido. La RM es analizada en profundidad, mientras que el ultrasonido se menciona de manera general como referencia comparativa.

La Tomografía Computarizada (TC) se basa en la atenuación diferencial de los rayos X al atravesar tejidos de diversas densidades. Los detectores digitales registran la radiación que pasa a través del cuerpo y convierten esta información en señales electrónicas, permitiendo su procesamiento inmediato. A diferencia del sistema analógico de película, la TC ofrece un rango

dinámico superior, lo que permite capturar una mayor variación en la absorción de los tejidos y mejorar el contraste de las imágenes. Además, la curva característica de los detectores digitales de TC mantiene una relación lineal en un amplio rango de exposiciones, garantizando imágenes de alta resolución espacial y latitud (Calzado & Geleijns, 2010).

La Tomografía computarizada es esencial en la radiología moderna por permitir el diagnóstico de múltiples patologías, además, de su capacidad de reducir la radiación dispersa y mejorar la calidad diagnóstica. Su uso implica consumos de energía, derivado del funcionamiento de rayos x, los detectores, los sistemas de enfriamiento y la infraestructura asociada. Además, la radiación no ionizante que implica consideraciones ambientales.

La capacidad de la RM para generar imágenes de alta resolución y excelente contraste sin los riesgos asociados a la exposición a radiación ionizante ha consolidado su uso en la radiología moderna como un método fundamental en el diagnóstico por imagen (Caicedo Martínez, Aldana Ramírez, & Hernández Suarez, 2009). Representa un avance significativo en el diagnóstico por imagen al ofrecer imágenes detalladas sin el uso de radiación ionizante, lo que la convierte en una opción segura para estudios repetitivos.

Sin embargo, la RM presenta uno de los mayores impactos energéticos dentro de las modalidades de imagen. Los imanes superconductivos requieren sistemas de enfriamiento continuo, generalmente con helio líquido y con ello una infraestructura especializada que mantiene su operación constante incluso cuando el equipo no está realizando estudios, este consumo permanente contribuye de manera significativa a la huella de carbono hospitalaria (Pardell Peña, 2025).

A diferencia de la TC y la radiación no ionizante, la RM no genera radiólisis; sin embargo, su demanda energética representa un reto en términos de sostenibilidad. Las

reflexiones sobre los riesgos biológicos de la radiación ionizante continúan siendo relevantes para contextualizar el papel de la TC, como señalan Puerta Ortiz & Morales Aramburo (2020), quienes explican los mecanismos de radiolesiones y fotolesiones en los tejidos:

Las moléculas constituyentes del material biológico pueden sufrir alteraciones que dan origen a diferentes lesiones. Así, se denominan radiolesiones aquellas que son producidas por las radiaciones ionizantes, y fotolesiones las que son producidas por radiaciones no ionizantes. Entre las lesiones inducidas por diferentes agentes físicos y químicos está la mutagénesis. Son considerados agentes mutagénicos las radiaciones ionizantes y el ultravioleta, como agentes físicos, y los alquilantes, los intercalantes y los productores de radicales libres, como agentes químicos. (pág. 5)

La RM es especialmente útil para la evaluación de tejidos blandos como el cerebro, músculos, ligamentos y órganos internos, superando en muchos casos la capacidad diagnóstica de rayos X y TC en áreas como neurología, ortopedia y oncología. Los principios de esta técnica derivan de la física cuántica, ya que dependen de la alineación y posterior relajación de los núcleos de hidrógeno bajo la influencia de un campo magnético.

Así como la radiación afecta a la salud de las persona, genera impactos negativos en el medio ambiente, por ende, cada vez se encaminan los esfuerzos en reducir los daños ecológicos, promoviendo la transformación de los servicios de salud en iniciativas amigables con el medio ambiente (González Hernández & Niño Herrera, 2024).

Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA) en Equipos Radiológicos

El Análisis del Ciclo de Vida (LCA) es una herramienta valiosa para evaluar los impactos ambientales de productos, procesos o sistemas a lo largo de todo su ciclo de vida. Al proporcionar un enfoque sistemático para evaluar el consumo de recursos, el uso de energía, las emisiones y la

generación de desechos, LCA empodera a los grupos de interés a tomar decisiones sostenibles informadas. A pesar de sus limitaciones, los avances continuos en la recolección de datos, técnicas de modelado y la participación de las partes interesadas siguen mejorando la precisión y relevancia de las evaluaciones LCA. (Acquis, 2025). Para este caso evalúa el impacto ambiental de los equipos radiológicos a lo largo de su ciclo de vida, considerando las fases de producción, operación y descarte. En TC y RM, la fase operacional suele representar el mayor impacto ambiental.

Marcos Normativos y Prácticas Sostenibles en Radiología

Organismos internacionales como la OMS, la IAEA y asociaciones profesionales promueven prácticas sostenibles en radiología, orientadas a la eficiencia energética, reducción de residuos y uso responsable de la tecnología.

Radiología Verde (Green Radiology)

La radiología verde propone estrategias para minimizar el impacto ambiental de los servicios de imágenes diagnósticas, integrando criterios de sostenibilidad en la gestión, adquisición tecnológica y práctica clínica.

Experiencias Internacionales Relacionadas con la Sostenibilidad en Radiología.

La Sociedad Europea de Radiología (ESR). La ESR lanzó su Programa de Radiología Verde en 2014, con el objetivo de promover la sostenibilidad en la práctica radiológica mediante la creación de directrices y recomendaciones, promoción de la investigación y desarrollo de herramientas de evaluación. Lendoiro, A, & A (2024) como resultado del estudio aplicado entorno a la radiología verde lograron identificar que “Diferentes centros hospitalarios españoles, entre ellos el Hospital Clínic de Barcelona o el Hospital de La Paz en Madrid, han implementado distintas iniciativas para reducir el impacto ambiental de su actividad” (pág. 250).

El Reino Unido ha sido pionero en la adopción de políticas institucionales de sostenibilidad dentro de la atención sanitaria. El National Health Service (NHS) (2023) publicó un informe “A Green Guide for UK Diagnostic Imaging”, con la finalidad de diagnosticar y priorizar medidas incorporando auditorías energéticas en imagenología y planes para reducir la huella de carbono del servicio. Dando como resultado la necesidad de llevar a cabo ajustes de horarios, modos de ahorro energético, reducción de impresiones y propuestas para evaluar equipos por su impacto ambiental.

En Estados Unidos, la Environmental Protection Agency (EPA), (2024) a través del programa Energy Star, ha promovido criterios de eficiencias energéticas aplicables a equipos de diagnóstico médico, incluyendo tomógrafos, resonadores y sistemas de rayos X. Las especificaciones técnicas propuestas buscan que los equipos incorporen modos de ahorro de energía, sistemas de suspensión automática y consumos reducidos durante el modo de espera

Estas prácticas evidencian que la sostenibilidad en radiología no depende únicamente de la tecnología, sino de la gestión integral del servicio, las políticas gubernamentales, la cultura organizacional, el compromiso empresarial y de los profesionales en salud.

Tendencias Reportadas en la Literatura para Promover Prácticas Sostenibles en el Uso de Tecnologías Radiológicas.

La literatura destaca la necesidad de integrar enfoques ambientales, económicos y sociales en el uso de tecnologías de diagnóstico por imagen. Los estudios coinciden en que una de las principales estrategias es la optimización energética de los equipos de tomografía computarizada, resonancia magnética y rayos X, mediante sistemas de ahorro de energía, modos de reposo automático y mantenimiento preventivo que prolongue su vida útil.

Asimismo, se promueve la digitalización completa de los procesos a través de sistemas PACS y RIS, reduciendo el consumo de papel, películas radiográficas y químicos de revelado. Estas acciones, además de disminuir los residuos hospitalarios, contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad de los estudios. (Andrei, 2025)

Otra tendencia importante es la gestión responsable de residuos y la adopción de políticas que den prioridad a la compra de insumos reciclables y equipos con certificaciones ambientales.

Finalmente, se observa una tendencia hacia la evaluación del ciclo de vida de los equipos radiológicos, la incorporación de indicadores de sostenibilidad en la gestión hospitalaria y el impulso de alianzas entre fabricantes, instituciones y organismos reguladores. Con ello, destaca la necesidad de medir y monitorear indicadores como consumo energético, huella de carbono y costos operativos en departamentos de imagen, especialmente en modalidades de alto impacto como la TC y la RM.

Diversos países han implementado iniciativas exitosas orientadas a la sostenibilidad en radiología, incluyendo optimización de protocolos, actualización tecnológica y políticas de gestión ambiental.

Metodología

Técnicas de Recolección de la Información y de Análisis

La presente investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo, debido a que su propósito no es medir o cuantificar variables, sino interpretar, comparar y comprender el abordaje de distintos autores al tema de la sostenibilidad en tecnologías de imagen diagnóstica, particularmente en tomografía computarizada y resonancia magnética.

La revisión documental y/o literatura, fundamentado en la búsqueda, análisis y síntesis crítica de información publicada en bases de datos científicas y revistas indexadas. Esta elección responde a la necesidad de recopilar, contrastar y comprender el conocimiento existente sobre la sostenibilidad de las tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas, sin realizar trabajo de campo o experimentación directa.

La revisión documental basada en la recopilación sistemática de información, evaluación crítica de documentos, organización de resultados en una matriz de análisis y la síntesis interpretativa de hallazgos relevantes.

Este enfoque permite realizar un análisis comparativo y reflexivo, identificando coincidencias, divergencias y vacíos en la literatura existente, así como tendencias y buenas prácticas que orienten la adopción de tecnologías más sostenibles en el ámbito radiológico.

Fases y Actividades

El desarrollo del trabajo investigativo se desarrolla en dos fases, búsqueda y selección de literatura relevante. Se realizó una búsqueda de literatura en bases de datos científicas, con el fin de recopilar información sobre la sostenibilidad en el marco de las imágenes radiológicas. Las bases de datos consultadas fueron: PubMed, IEEE Xplore, ScienceDirect y Google Scholar.

Palabras Claves Utilizadas. Sostenibilidad, impacto ambiental, tomografía computarizada y resonancia magnética. Los cuales se combinaron mediante operadores booleanos (AND/OR) para ampliar y refinar los resultados en las bases de datos. Por ejemplo: sostenibilidad AND “tomografía computarizada”; “resonancia magnética” AND impacto ambiental; radiology AND sustainability AND energy consumption.

Criterios de Inclusión. Artículos y libros publicados en los últimos 10 años, a excepción de referencias clásicas esenciales para el marco teórico. Literatura en español e inglés.

Criterios de Exclusión. Estudios con información desactualizada, se excluirán trabajos publicados antes del rango temporal definido (anteriores a 2010), dado que la sostenibilidad tecnológica y las innovaciones en radiología han avanzado significativamente en la última década.

Fuentes no científicas, informes o documentos que no provengan de revistas indexadas, bases de datos académicas o fuentes institucionales reconocidas, con el fin de garantizar la validez y confiabilidad de la información analizada.

Redacción y Síntesis de Resultados. En esta fase desarrollan los objetivos de investigación, se consolida la información y se lleva a cabo la discusión de los resultados, organizados en un documento.

Resultados

Criterios de Sostenibilidad Aplicados en Estudios Previos Sobre Radiología Médica, Considerando Marcos Normativos y Teóricos Internacionales

Para el desarrollo de este apartado se hizo una revisión a fuentes de información en bases de datos: PubMed, Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, Google Scholar y documentos institucionales: OMS, IAEA, ISO, UNESCO, ONU (Agenda 2030). Clasificando la información encontrada en tres dimensiones de sostenibilidad: ambiental, económica y social.

Tabla 1

Criterios de Sostenibilidad

Dimensión	Criterios	Aplicación en Radiología	Marco Normativo y/o Teórico Internacional
Ambiental	Eficiencia energética, reducción de residuos radiactivos, reciclaje de materiales, uso de PACS digitales.	Programas de ahorro energético en resonancia magnética, reducción de impresiones en papel	ISO 14001,
Económica	Optimización de recursos, mantenimiento preventivo, costos de energía, bienestar laboral.	Equipos con bajo consumo energético, análisis de costo por imagen.	ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) Agenda 2030
Social	Seguridad del paciente y del personal, capacitación, equidad en el acceso, bienestar laboral.	Protocolo de protección radiológica, formación en buenas practicas sostenibles. Implementación de equipos con consumo reducido.	OMS –Hospitales verdes. IAEA (guías de protección radiológica y sostenibilidad hospitalaria).

Nota. Elaboración propia (2025).

La meta del objetivo número 12, publicado por las Naciones Unidas menciona que se debe medir el número de empresas que publican los informes sobre sostenibilidad para ello se pretender “alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas

transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes” (Naciones Unidas, 2018, pág. 57).

En los estudios revisados se identifican criterios de sostenibilidad centrados principalmente en la reducción del consumo energético de los equipos de tomografía y resonancia magnética, la gestión adecuada de residuos hospitalarios y la digitalización de procesos. Estos criterios se alinean con los lineamientos de la OMS, que promueven la eficiencia en el uso de recursos y la mitigación de impactos ambientales en los servicios de salud

Principales Tecnologías de Adquisición de Imágenes Radiológicas Utilizadas Actualmente en la Práctica Clínica

La radiología en la aplicación médica se constituye como una de las áreas más dinámicas de la medicina moderna, apoyada en tecnologías de adquisición de imágenes que permiten visualizar estructuras internas del cuerpo humano con alta precisión. Estas tecnologías se han diversificado en las últimas décadas, integrando sistemas digitales, inteligencia artificial y procesos automatizados que optimizan la calidad diagnóstica y la eficiencia operativa en los servicios de salud (Calva Sánchez et al. 2023). Entre las tendencias se destacan la integración de la inteligencia artificial, la digitalización PACS, RIS, DICOM, avances en resolución, velocidad y reducción de dosis.

En la siguiente tabla se mencionan las principales tecnologías de adquisición de imágenes.

Tabla 2*Principales Tecnologías de Adquisición de Imágenes Radiológicas*

Tecnologías de Adquisición de Imágenes	Principio	Aplicación	Ventajas	Sostenibilidad
Radiografía Digital (DR/CR)	Usa rayos X que atraviesan el cuerpo y son captados de detectores digitales (DR) o placas de fósforo (CR)	Tórax, extremidades, abdomen, columna.	Procesamiento rápido, menor dosis que los sistemas analógicos, almacenamiento digital.	Disminuye el uso de películas, químicos reveladores y agua. Sin embargo, requiere consumo eléctrico y mantenimiento de detectores.
Tomografía Computarizada (TC)	Usa rayos X que giran alrededor del paciente y son detectados por un anillo de detectores; mediante algoritmos de reconstrucción se generan imágenes axiales y volumétricas	Neurología, trauma, abdomen, tórax, oncología cardiovascular.	Alta resolución espacial, rapidez en emergencias, reconstrucciones en 3D, protocolos de baja dosis e integración con IA para acelerar la adquisición.	Alto consumo energético y uso de radiación ionizante; requiere sistemas de enfriamiento. Las mejoras con IA y protocolos de baja dosis reducen repeticiones y optimizan energía.
Resonancia Magnética (RM)	Campos magnéticos y ondas de radiofrecuencia que alinean los protones del cuerpo, generando imágenes de tejidos blandos.	Neurología, músculo-esquelético, cardiología, oncología.	Innovaciones como imágenes de alto campo (3T, 7T), secuencias rápidas, inteligencia artificial para reconstrucción.	Consumo eléctrico elevado, pero sin radiación ionizante.
Ecografía	Emisión de ondas sonoras de alta frecuencia que generan ecos al reflejarse en los tejidos.	Obstetricia, abdomen, tiroides, cardiología.	No usa radiación, bajo costo y portabilidad.	Tecnología limpia, con bajo impacto ambiental y energético.

Tecnologías de Adquisición de Imágenes	Principio	Aplicación	Ventajas	Sostenibilidad
Mamografía Digital	Rayos X de baja energía para estudiar el tejido mamario.	Detección temprana de cáncer de mama.	Innovación en Tomosíntesis (imágenes 3D) y algoritmos de IA para detección asistida.	Reducción por errores técnicos y menor uso de consumibles.

Nota. Elaboración propia (2025)

Con la anterior tabla es posible observar que los avances en digitalización, telemedicina y el uso de la inteligencia artificial aportan a la sostenibilidad ambiental debido a la disminución de impresiones, optimización de recursos. Medidas que deben continuar su orientación a criterios de eficiencia energética, reciclaje y la formación del personal para hacer uso adecuado y responsable de los insumos lo que apunta a prácticas sostenibles.

Buenas Prácticas y Experiencias Internacionales Relacionadas con la Sostenibilidad en Radiología.

La Sociedad Europea de Radiología (ESR). La ESR lanzó su Programa de Radiología Verde en 2014, con el objetivo de promover la sostenibilidad en la práctica radiológica mediante la creación de directrices y recomendaciones, promoción de la investigación y desarrollo de herramientas de evaluación. Lendoiro, A, & A (2024) como resultado del estudio aplicado entorno a la radiología verde lograron identificar que “Diferentes centros hospitalarios españoles, entre ellos el Hospital Clínic de Barcelona o el Hospital de La Paz en Madrid, han implementado distintas iniciativas para reducir el impacto ambiental de su actividad” (pág. 250).

El Reino Unido ha sido pionero en la adopción de políticas institucionales de sostenibilidad dentro de la atención sanitaria. El National Health Service (NHS) (2023) publicó un informe “A Green Guide for UK Diagnostic Imaging”, con la finalidad de diagnosticar y priorizar medidas incorporando auditorías energéticas en imagenología y planes para reducir la

huella de carbono del servicio. Dando como resultado la necesidad de llevar a cabo ajustes de horarios, modos de ahorro energético, reducción de impresiones y propuestas para evaluar equipos por su impacto ambiental.

En Estados Unidos, la Environmental Protection Agency (EPA), (2024) a través del programa Energy Star, ha promovido criterios de eficiencias energéticas aplicables a equipos de diagnóstico médico, incluyendo tomógrafos, resonadores y sistemas de rayos X. Las especificaciones técnicas propuestas buscan que los equipos incorporen modos de ahorro de energía, sistemas de suspensión automática y consumos reducidos durante el modo de espera

Estas prácticas evidencian que la sostenibilidad en radiología no depende únicamente de la tecnología, sino de la gestión integral del servicio, las políticas gubernamentales, la cultura organizacional, el compromiso empresarial y de los profesionales en salud.

Recomendaciones y Tendencias Reportadas en la Literatura para Promover Prácticas Sostenibles en el Uso de Tecnologías Radiológicas

La literatura destaca la necesidad de integrar enfoques ambientales, económicos y sociales en el uso de tecnologías de diagnóstico por imagen. Los estudios coinciden en que una de las principales estrategias es la optimización energética de los equipos de tomografía computarizada, resonancia magnética y rayos X, mediante sistemas de ahorro de energía, modos de reposo automático y mantenimiento preventivo que prolongue su vida útil.

Asimismo, se promueve la digitalización completa de los procesos a través de sistemas PACS y RIS, reduciendo el consumo de papel, películas radiográficas y químicos de revelado. Estas acciones, además de disminuir los residuos hospitalarios, contribuyen a mejorar la eficiencia operativa y la trazabilidad de los estudios. (Andrei, 2025)

Otra tendencia importante es la gestión responsable de residuos y la adopción de políticas que den prioridad a la compra de insumos reciclables y equipos con certificaciones ambientales.

Finalmente, se observa una tendencia hacia la evaluación del ciclo de vida de los equipos radiológicos, la incorporación de indicadores de sostenibilidad en la gestión hospitalaria y el impulso de alianzas entre fabricantes, instituciones y organismos reguladores.

Conclusiones

Una vez realizada la revisión bibliográfica y la comparación de las tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas en torno a la sostenibilidad, impacto ambiental, costos de operación y consumo energético, se puede concluir:

La sostenibilidad en las tecnologías de adquisición de imágenes radiológicas se constituye como un eje central en el sector de la salud, en respuesta a los desafíos ambientales, económico y energético que enfrenta actualmente. Comparando la tomografía computarizada (TC) con la resonancia magnética (RM), la radiografía digital y la ecografía presentan diferencias significativas en su huella ambiental y consumo energético, siendo la resonancia magnética y la tomografía computarizada las que demandan mayores recursos eléctricos y costos operativos.

La sostenibilidad en el campo de la radiología depende de la optimización energética de los equipos médicos, además del uso racional de los recursos tecnológicos y la digitalización de los procesos mediante sistemas PACS y RIS, los cuales permiten reducir el uso de materiales físicos, minimizar ruidos y mejorar la eficiencia operativa.

La modernización tecnológica orientada hacia la eficiencia energética se convierte en una estrategia importante para reducir costos de operación y mitigar el impacto ambiental sin comprometer la calidad de los exámenes diagnósticos.

La importancia de implementar políticas institucionales que fomenten la sostenibilidad e incentiven la formación del personal técnico y médico, en prácticas verdes.

Finalmente, puede concluirse que la sostenibilidad en radiología médica implica un cambio estructural hacia prácticas responsables que integren los principios del desarrollo sostenible en la gestión tecnológica, ambiental y humana. La combinación de innovación,

eficiencia energética y compromiso institucional constituye la base para un modelo de radiología más resiliente, ecológicamente consciente y alineado con las metas globales de sostenibilidad del sector salud.

Referencias Bibliográficas

- Acquis. (2025). <https://www.acquiscompliance.com/blog/lca-approach-evaluating-environmental-impact-es/>.
- Andrei, B. (2025). *MEDICAI*. Obtenido de <https://blog.medicalai.io/es/pacs-y-sistemas-ris/>
- Bastarrika, G. (2007). Tomografía computarizada y práctica clínica. *Scielo*, 30(2), 171-176.
- Bossa Benavidez, J., David Meza, J., Ramos-Franco, D., & Cohen Padilla, H. (2023). La sostenibilidad en Colombia frente al desarrollo sostenible en el mundo. Una revisión bibliométrica para el análisis del entorno. *Revista Universidad Y Empresa*, 44.
- Caicedo Martínez, O. H., Aldana Ramírez, C. A., & Hernández Suarez, C. (2009). Resonancia magnética funcional: evolución y avances en clínica. *Tecnura*, 13(25), 88-103.
- Calva Sánchez, R. J., Jimenez Buri, K. F., Herrera Sarango, S. C., & Núñez Cabrera, C. M. (2023). Avances Tecnológicos y Científicos en Radiología. *RECIAMUC*, 7(2), 457-465. doi:10.26820
- Calzado, A., & Geleijns, J. (2010). Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. *Revista de Física Médica*, 11(3), 163-180.
- Canon Medical Academy. (2023). *A Green Guide for UK Diagnostic Imaging*.
- Cervera García, A., & Goussens, A. (2024). Ciberseguridad y uso de las TIC en el Sector Salud. *Elsevier España*, 1-7.
- Corona Lisboa, J. L. (2018). Investigación Cualitativa: Fundamentos
- Energy Star Product Specification For Medical Imaging Equipment. . (2024). *Environmental Protection Agency (EPA)*. Washington, D.C.
- EPISTEMOLÓGICOS, TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS. *Vivat Academia*, 144(ISSN: 1575-2844), 69-76.

- Forética. (2025). *La sostenibilidad, clave estratégica para un sistema de salud más inclusivo, eficiente y resiliente*. Madrid. Recuperado el 2025, de <https://foretica.org/2025/04/la-sostenibilidad-clave-estrategica-para-un-sistema-de-salud-mas-inclusivo-eficiente-y-resiliente/>
- Gómez, L., Muñoz Ardila, E. Y., Soto Osorio, L. K., & Velásquez Hernández, J. D. (2025). *Huella de carbono y su eficiencia energética en radiología convencional (CR-DR)*. Colombia.
- González Hernández, L. V., & Niño Herrera, P. A. (2024). *Formulación De Estrategias De Hospital Verde, Para El Hospital Universitario De San José*. Bogotá.
- Jarol, B. B. (2023). La sostenibilidad en Colombia frente al desarrollo sostenible en el mundo. Una revisión bibliométrica para el análisis del entorno. *Revista Universidad & Empresa*, 25(44), 1-29. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/>, 25(44), 1-29.
- Lendoiro, L. S., A, R., & A, M. S. (2024). Green radiology: cómo desarrollar una radiología sostenible. *2024*, 66(3), 248-259.
- McKee, H., Brown, M. J., Kim, H. H., Doo, H. H., Panet, H., Rockall, A. G., . . . Hanneman, K. (s.f.). Salud planetaria y radiología: por qué debemos preocuparnos y qué podemos hacer. *Radiology*, 311(1). doi:<https://doi.org/10.1148/radiol.240219>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una Oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago.
- Olivé, F., & Sanhueza, M. B. (2025). Hacia un sistema de salud sustentable en Chile: el papel de los hospitales verdes. *Revista Médica Clínica las Condes*, 36(4), 364-372.
- Pardell Peña, X. (2025). Resonancia magnética, partes y funcionamiento. *Authorea*.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2025). *UNDP ORG*. Obtenido de <https://www.undp.org/>
- Puerta Ortiz, J. A., & Morales Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27(1), 61-71.
- Restrepo Guerrero, H. F., & Rodríguez López, J. I. (2020). *Hospitales verdes Un nuevo desafío para América Latina*. (F. U. Andina, Ed.)
- Topo Info. (sf). *encolombia*. Recuperado el 2025, de <https://encolombia.com/author/topo-info/>
- Vargas Muñoz, J. C. (2025). *Priorización de prácticas de Gestión de la Cadena de Suministro Circular orientadas a la sostenibilidad de las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) en Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87639>
- Zafra Galvis, O. (2006). Zafra Galvis, Orlando. *Revista Científica General José María Córdova*, 4(4), 13-14.