

Huella de carbono y su eficiencia energética en radiología convencional (CR-DR)

Erika Yohanna Luis Gómez

Laura Katherine Muñoz Ardila

Juan Daniel Soto Osorio

Cristian Andrés Velásquez Hernández

Asesor

Edna Roció Jamaica Guio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela De Ciencias En La Salud ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnosticas

2025

Resumen

La sustitución de tecnologías en los servicios de radiología en centros de atención en salud (hospitales o clínicas) ha mejorado significativamente la capacidad diagnóstica; sin embargo, estos avances también han generado preocupaciones relevantes en torno a su impacto ambiental.

Analizando comparativamente las tecnologías de adquisición de imágenes médicas (CR y DR), no se limita únicamente a sus características técnicas para obtener imágenes o a la mejora de la calidad diagnóstica. También considera su impacto ambiental, particularmente en relación con la generación de huella de carbono (CO₂), se abarca también el costo de los equipos y su eficiencia energética. De este modo, se establece una evaluación del impacto ambiental y se estudian las opciones más sostenibles, teniendo en cuenta los hospitales y clínicas, tanto a nivel nacional como internacional, que han implementado estas tecnologías con fuentes de energía renovable y están en tiempos de fases piloto o en pruebas.

El estudio se desarrollará bajo un enfoque metodológico cualitativo, considerando datos obtenidos de artículos científicos y textos académicos disponibles en la biblioteca de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). El objetivo es identificar resultados derivados de las diferentes investigaciones previas que ayudaran a que los centros de atención en salud tomen decisiones informadas respecto a la adquisición de tecnologías digitales. Asimismo, se busca la educación del personal de salud en temas sobre el cuidado del ambiente y orientar el diseño de infraestructuras hospitalarias que tengan el manejo de áreas de radiología, priorizando el criterio de eficiencia energética y mitigar o reducir la huella de carbono asociada con la radiología digital.

Palabras claves. Radiología digital, Radiología computada, mitigación, dióxido de carbono y gases efecto invernadero.

Abstract

The substitution of technologies in radiology services in healthcare centers (hospitals or clinics) has significantly improved diagnostic capacity; however, these advances have also generated relevant concerns about their environmental impact.

Comparatively analyzing medical imaging technologies (CR and DR) goes beyond their technical characteristics for obtaining images or improving diagnostic quality. It also considers their environmental impact, particularly in relation to carbon footprint (CO₂) generation, as well as the cost of equipment and energy efficiency. Thus, an evaluation of environmental impact is established, and more sustainable options are studied, taking into account hospitals and clinics, both nationally and internationally, that have implemented these technologies with renewable energy sources and are in pilot phases or testing.

The study will be developed under a qualitative methodological approach, considering data obtained from scientific articles and academic texts available in the library of the Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). The objective is to identify results derived from previous research that will help healthcare centers make informed decisions regarding the acquisition of digital technologies. Additionally, the study aims to educate healthcare personnel on environmental care and guide the design of hospital infrastructures that manage radiology areas, prioritizing energy efficiency and mitigating or reducing the carbon footprint associated with digital radiology.

Keywords. Digital radiology, Computed radiology, mitigation, carbon dioxide, and greenhouse gases.

Tabla de contenido

Introducción	8
Planteamiento del Problema.....	9
Justificación	11
Objetivos	12
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos	12
Marco Teórico	13
Radiología Computada (CR).....	13
Radiología Digital (DR)	13
Sostenibilidad ambiental en el sector salud	15
Sostenibilidad en Radiología	15
Impacto Ambiental e Iniciativas	16
Metodología	19
Método	19
Pasos Seguidos Hasta Este Punto	20
Resultados	22
Conclusiones	27
Referencias Bibliográficas	28

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Relación de Referencias Y Relación De Documentos</i>	24
--	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Proceso De Adquisición Cr</i>	12
Figura 2 <i>Proceso De Adquisición Dr</i>	13
Figura 3 <i>Discusión: Las Emisiones De CO2</i>	21
Figura 4 <i>Dato Estadístico De Los Escenarios, Y Su Comparación ...</i>	23

Introducción

En la actualidad, la sustitución de la radiología computada por la digital ha sido impulsada, entre otros factores, por 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.

La evaluación de esta sustitución tecnológica permitirá a las IPS tomar decisiones informadas en términos de sostenibilidad, eficiencia operativa y compromiso ambiental. Se busca, además, aportar evidencia significativa que sirva como base para orientar esta renovación tecnológica de los servicios de radiología, orientado a minimizar su huella ecológica, particularmente la emisión de CO₂.

La presente investigación, de enfoque cualitativo, realiza un análisis comparativo en dicha sustitución tecnológica, orientado por dos variables principales: la generación de huella de carbono (GEI) y su eficiencia energética. Este análisis pone en evidencia la necesidad de disminuir la huella ambiental, así como la falta de conocimiento acerca de la huella de carbono generada por los equipos radiológicos, y la escasa educación y conciencia ambiental del personal de salud encargado del uso de los mismos.

Planteamiento del Problema

La radiología es una herramienta esencial en el diagnóstico médico. Su avance tecnológico conlleva a una sustitución de la radiología computada (CR: detector de placas y scanner) por la radiología digital (sistemas PAC/RIS y software). Esta sustitución tecnológica promete mejoras significativas en la calidad de las imágenes diagnósticas y en la sostenibilidad ambiental; sin embargo, estas ventajas están condicionadas por la creciente exigencia de calidad y rapidez en la práctica clínica, lo que conlleva un mayor consumo de la energía en los departamentos de radiología y, en consecuencia, a la generación de Gases de Efecto Invernadero GEI.

La radiología computada (CR) es una técnica de obtención de imágenes de rayos X que utiliza un sistema basado en placas de fósforo y un escáner digital para procesarlas, tal como expone en su investigación Contreras et al. (2022): “la grabación de la imagen latente en una placa que contiene fósforo foto-estimulante, a través de la estimulación con luz láser” (pág. 33) todo este proceso en la actualidad se define como radiología indirecta; Sin embargo, el tema de la eficiencia energética y huella de carbono ha generado debates sobre el uso excesivo de las imágenes diagnósticas gracias a la radiología digital (DR) que a grosso modo define Contreras et al.(2022) como la tecnología que: “convierte los fotones de rayos X incidentes en cargas eléctricas y lee las imágenes utilizando matrices de conversión fotoeléctrica” (Pag.34), Si bien es cierto que la radiología digital (DR) ofrece grandes ventajas en los procesamientos y velocidad de obtención de las imágenes, su dependencia a la tecnología, llega a tener implicaciones negativas en el ambiente, por el aumento en la huella de carbono (GEI), en la generación indiscriminada de residuos electrónicos y la dependencia de la conectividad

mostrando que, el conocimiento sobre la generación de gases efecto invernadero puede dar conciencia para disminuir ese uso excesivo e innecesario de la radiación.

De acuerdo con lo anterior, se estableció en el congreso de SERAM (2024) que:

“El impacto medioambiental del gasto energético, el otro punto en el tema de la sostenibilidad en radiología se refiere a la gestión eficaz de los residuos generados durante las actividades clínicas. Estos residuos pueden generar importantes emisiones de carbono en los departamentos de radiología”. (Hospital comarcal, pág. 23).

Por ello, la problemática en la radiología digital, es el uso de energía continuo en este caso la emisión de CO₂. Las radiografías digitales son las que producen GEI este gas se produce por la energía eléctrica de los equipos de rayos X y está generando graves impactos ambientales por esto es importante reducir las emisiones y mitigar estos impactos (cambios climáticos, impacto en la salud, etc.) y ayudar a proteger el ambiente.

Observando la transición de una tecnología análoga a la digital, en esta investigación se busca responder la siguiente pregunta:

¿Qué tan necesario es que las instituciones de salud promuevan la implementación de fuentes de energía renovable en los servicios de radiología para reducir su huella ambiental?

Justificación

La sustitución de la radiología computada a digital, caracteriza no solo el avance tecnológico, sino también la creciente conciencia sobre la sostenibilidad ambiental en los últimos años, lo que hace importante evaluar y comparar estas tecnologías; ya que, a pesar de sus ventajas y la mejora en el procesamiento de las imágenes y en lo oportuno del diagnóstico, también involucran un impacto negativo en el aspecto medioambiental, en el gasto de energía y emisión huella de carbono (GEI), por consecuencia del empleo constante de estos equipos en las dos modalidades (CR y DR).

Este estudio es trascendental porque permitirá realizar el análisis comparativo entre la radiología computada y la radiología digital, buscando abordar la falta de información en cuanto al impacto ambiental de los sistemas digitales, debido a que están implicando mayor consumo de energía y no se están reduciendo los GEI, también la generación de desechos electrónicos provenientes de esta sustitución.

Así, se permitirá evaluar si estas nuevas tecnologías médicas aportan mejoras al medio ambiente y al impacto energético por el constante uso de tecnología, o si es necesario identificar cambios asociados al uso de estos sistemas de procesamiento de imagen, donde el uso de energías renovables ayuda en la protección del medio ambiente y gasto energético.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la integración de energías renovables en los servicios de radiología, especialmente radiología digital, a partir de una revisión bibliográfica que determine su eficiencia energética y contribución a la sostenibilidad ambiental.

Objetivos Específicos

Revisar y Organizar la información relacionada con la sustitución de la radiología computada (CR) a la radiología digital (DR), con énfasis en el impacto ambiental y huella de carbono (CO₂).

Comparar el efecto ambiental derivado del uso de la radiología computada Vs la radiología digital, diferenciando las modalidades directa e indirecta, con base en su procesamiento de las imágenes diagnósticas.

Identificar las tecnologías que incluyen la energía renovable para implementar en los servicios, evaluando que minimicen las emisiones de gases efecto invernadero (CO₂).

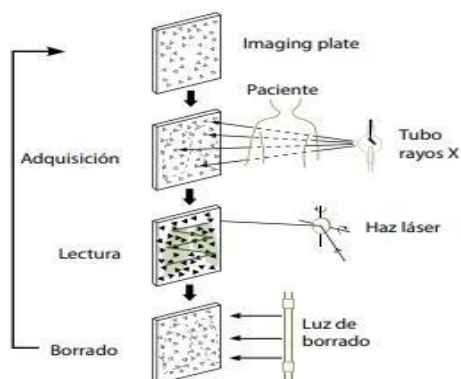
Marco Teórico

Radiología Computada (CR)

Contreras et al. (2022) la señala como: “tecnología basada en la grabación de la imagen latente en una placa de imagen que contiene fósforo foto-estimulable a través de la estimulación con luz láser” (pág. 33); de esta descripción podemos comparar los tipos de radiología ya que el procesado con químicos desde 1895 cambio, para un mejor desarrollo de la tecnología y la ayuda al ambiente, en esta “nueva” tecnología sin embargo, se debe destacar que se eliminó el uso de químicos para ingresar tecnología digital como una forma de radiología no directa (radiología digital que utiliza escáner con luz láser).

Figura 1

Proceso De Adquisición CR



Nota. Proceso de adquisición de las imágenes en radiología computada. Tomado de.

Fundamentos de física médica. Xavier,P,Et.al (2019). pág.78. <https://booksmedicos.org/page/2/>

Radiología Digital (DR)

Contreras et al.(2022) nombra en su estudio que en la década de 1990 se dio el origen de la radiología digital, resaltando que: “La tecnología de radiografía digital convierte los fotones de rayos X incidentes en cargas eléctricas y lee las imágenes utilizando matrices de

conversión fotoeléctrica, mostrando un tiempo de lectura más rápido que la radiología computada” (Pag.34); con respecto al segundo tipo de tecnología, se puede evidenciar que la imagen es capturada directamente al formato digital entregando ventajas de menos tiempo de adquisición del estudio y menor tiempo de lectura a la hora del diagnóstico, se considera una forma de radiología más directa (radiología digital directa); con ventajas evidentes para la atención del usuario sin olvidar la desventaja del riesgo de exposición a la radiación.

Figura 4

Proceso de Adquisición DR



Figura 19. Principio de operación de "flat" panel de silicio.

Nota. Proceso de adquisición de las imágenes en radiología Digital. Tomada de. Fundamentos de física médica. Xavier.P.M, Et.al. (2019) pág. 88. <https://booksmedicos.org/page/2/>

Analizando las cargas energéticas de estas tecnologías (CR y DR), según estudios técnicos de eficiencia operativa, el sistema de radiología digital puede consumir entre 0.5 y 1.2 kW por cada estudio, mientras un sistema de radiología computada puede alcanzar hasta 2 kW también por estudio; debido al tiempo adicional que genera el procesamiento y la necesidad de escáner

externo en CR según Xiangyu et al. (2021), estas diferencias cobran especial relevancia en los servicios de urgencias que realizan cientos de estudios diarios.

Sostenibilidad Ambiental En el Sector Salud

En el contexto del sector salud, la sostenibilidad ambiental es el principio que busca garantizar que el desarrollo de las actividades humanas no comprometa los recursos naturales del planeta. Este contexto implica el uso responsable de los recursos, la minimización del impacto ambiental y la promoción de una economía que integre eficiencia energética, reducción de residuos y el uso de energías limpias (ONU,2022); la sustitución hacia sistemas más sostenibles en salud implica la adopción de fuentes de energías renovables, incorporar tecnologías más eficientes y amigables con el ambiente; debido a la alta demanda de energética, la dependencia a los sistemas informáticos y la creciente digitalización incrementa la huella ambiental, la producción de desechos hospitalarios.

En respuesta a la problemática diversas instituciones en otros países como España han desarrollado marcos de acción para promover la sostenibilidad en salud, asimismo la organización mundial de la salud (OMS) en el 2021 solicito a los sistemas de salud formular planes de acción climática que integre criterios en base a la sostenibilidad ambiental en la toma de decisiones relacionadas con su infraestructura, tecnología y formación del personal asistencial.

Sostenibilidad en Radiología

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.

Esto incluye el uso racional de la energía, optimizar la vida útil de los equipos, la gestión adecuada para desechar residuos electrónicos y el fortalecimiento de la conciencia ambiental entre los profesionales del área de radiología. Además, implementar los principios técnicos de sostenibilidad como el adquirir equipos con certificación energética, el uso de fuentes de energía renovable, la actualización periódica del software para reducir fallas operativas y la ejecución de sistemas de apagado automático de las estaciones que permanezcan inactivas. Capacitación sobre el uso eficiente de los equipos también esto contribuye a reducir la huella ambiental del servicio de radiología.

Huella de carbono

Definido por ministerio de Ambiente como: “indicador que busca cuantificar la cantidad de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (directas e indirectas), medidas en emisiones de CO₂ equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades humanas” (2019) y se busca medir en el servicio de radiología.

Gases De Efecto Invernadero (GEI)

Según la Resolución 1447/2018, se define como “componentes gaseosos de la atmosfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja” (Pag.7); En los servicios de radiología, pueden generarse diferentes tipos de GEI, aunque en el servicio de radiología convencional el más generado es el Dióxido de carbono (CO₂). Esto se debe al alto consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes no renovables.

Impacto Ambiental e Iniciativas

Una de las iniciativas con mayor potencial de impacto ambiental en el servicio de radiología es la adopción de equipos que cuenten con certificados de eficiencia energética, los cuales consumen menos electricidad en el procesamiento o pos- procesamiento de las imágenes. A

ello se suma la integración de sistemas de apagado automático para estaciones de trabajo que permanecen inactivas. En este sentido, el estudio de Bùttner et al (2021) demostró que:

Ecológicamente, una simple instrucción para apagar las estaciones de trabajo... evitó la emisión innecesaria de aproximadamente 3,2 toneladas de CO₂, equivalente a las emisiones anuales de dos automóviles. Para compensar esta cantidad de CO₂ emitido, de lo contrario, se tendrían que plantar 240 árboles al año.

Sin embargo, a pesar de las diferentes iniciativas o evidencia disponible muchas de las iniciativas terminan por no implementarse de forma efectiva, ya que comúnmente malgastan los avances que se tiene en los tiempos de atención a los usuarios o en los puntos de atención de urgencias por su alta demanda no se logra el aprovechamiento de dicha iniciativa.

En el contexto colombiano, González H (2024); expone un caso exitoso en materia de la eficiencia energética hospitalaria, el estudio señala que:

Los hospitales son grandes consumidores de energía, por lo que se deben tomar medidas para mejorar ... Esto podría incluir el uso de tecnologías de iluminación LED, sistemas de gestión de energía para monitorear y controlar el consumo, equipos médicos eficientes y la integración de fuentes de energía renovable como paneles solares o sistemas combinados de calor y electricidad.

En este mismo enfoque, se destaca la experiencia en un hospital de suba (Bogotá) en 2013, donde se implementó la actividad de ahorro de energía, esta gestión que resulto ser exitosa. La utilización de energía renovable que cumple con el propósito de la eficiencia energética, todas estas medidas permitieron avanzar al decrecimiento significativo de la huella de carbono sin comprometer la calidad en la atención médica.

Este análisis comparativo entre radiología computada (CR) y radiología digital (DR) permite comprender de forma integral el impacto ambiental asociado al uso de estas tecnologías.

Asimismo, contribuye a identificar estrategias viables para la implementación de energías limpias de los sistemas de salud, como herramienta para mejorar el bienestar ambiental y de la población.

Metodología

Método

La metodología propuesta para la comparación sobre la radiología digital (DR) y su huella de carbono: Mejorando su eficiencia energética y proponiendo mejoras; se basa en un enfoque tipo documental, basado en análisis de texto y revisión bibliográfica encontrada en artículos científicos y bases de datos académicas como: Scielo, Elsevier, PubMed, UNAD y Google Scholar, esto con el fin de obtener información de las tecnologías (Radiología computada (CR) y la Radiología Digital (DR)), y los efectos de la huella de carbono, que afectan el ambiente en la actualidad y así proponer mejoras que ayuden al ámbito hospitalario a reducir estos efectos.

El enfoque del estudio actual es de tipo cualitativo y comparativo, en donde se revisan documentos que exponen la forma de pos-proceso de las imágenes de estas tecnologías (CR y DR) sus diferencias técnicas (Indirecta y Directa), permitiendo evaluar ventajas y desventajas de la radiología computada (CR) Vs la radiología digital (DR).

Esto facilita comprender la problemática, abarcando tanto los datos de identificación de las fuentes de CO₂ como la interpretación de estudios aplicados que proponen mejoras de la eficiencia energética en el ámbito hospitalario, específicamente en el área de radiología.

utilizando palabras claves como: radiología digital, radiología computada, eficiencia energética en los servicios de radiología, huella de carbono en radiología, control del medio ambiente en los servicios de radiología, sostenibilidad en radiología digital, hospitales verdes.

Se aplicaron los filtros de búsqueda para delimitar el tiempo de las publicaciones de los años 2019 al 2025, artículos o documentos que estén en español e inglés y que preferiblemente sean revistas indexadas, tesis académicas o normatividad colombiana.

La selección de los artículos se hizo en base a la relevancia del tema y la claridad en el tema; durante la lectura de los artículos, se excluyeron los que tenían comparaciones entre las tecnologías computarizadas como: tomografía y resonancia, se tomaron lo que incluyeran el consumo energético, el impacto en el ambiente, la emisión de CO₂ en los equipos de radiología convencional y que incluyeran también propuestas de sostenibilidad ambiental en el contexto hospitalario o clínico.

Pasos Seguidos Hasta Este Punto

Identificar y seleccionar el tema de discusión en el foro dispuesto por la universidad y diferenciar los tipos de tecnologías (CR y DR).

Delimitar el tema con un árbol de problemas y enfocarlo sobre la radiología computada primaria y su efecto ambiental (CO₂) con la medición de gases efecto invernadero.

Seleccionar referencias relevantes que no se trataran sobre la tomografía y que sean actuales con respecto a la sustitución de la radiología digital ya sea directa o indirecta, cada integrante selecciono de 5 a 7 referencias que al hacer la lectura determinara eran idóneas para el tema de estudio.

Selección de información clave como las definiciones de las diferentes tecnologías, las formas de procesado de la imagen, comparación con respecto a la huella de carbono.

Identificar las falencias que se cometieron en la redacción del marco teórico y mejorar las debilidades en la redacción y su estructura, llegando a enfocar más el tema al ámbito hospitalario.

Inicio del rediseño del planteamiento del problema a partir de la retroalimentación recibida.

Diseñar el marco metodológico que corresponde a la fase 4 y formular cada uno un objetivo que este basados en lo realizado con la comparación de las tecnologías y el enfoque ambiental.

Reformulación del objetivo general ya que se desconectó de la pregunta problema y no tenía relación con el tema.

Mejorar los objetivos específicos, frente a su estructura técnica.

Consolidar los resultados obtenidos de las referencias leídas para contar con un reporte acertado realizando una tabla comparativa.

Realizar la conclusión de lo relacionado con la investigación.

Mejorar la técnica de las conclusiones.

Realizar video de sustentación.

Este método de investigación permitió la comprensión de como las nuevas tecnologías y más que todo las tecnologías renovables influyen en la disminución de los gases efecto invernadero (GEI), particularmente el CO₂ (Dióxido de carbono), y como las decisiones de los centros de salud impactan en el ambiente y en el personal.

Resultados

Durante la revisión documental se consultaron diversas fuentes científicas y académicas publicadas entre 2019 y 2025 sobre las tecnologías DR y CR (Tabla 1): Así se identificaron desacuerdos en la forma como se aborda el impacto ambiental; el estudio de McAlister et al. (2022) destaca que la huella de carbono puede mantenerse elevada si no se considera el tipo de fuente energética que alimenta los equipos, lo evidencia la necesidad de integrar energías renovables en estos servicios y además la participación de los médicos solicitando estos estudios radiológicos “solo cuando sea necesario” al igual que en el estudio de Schoen, Et.al (2021), que aborda el tema de como las especialidades médicas al conocer la cantidad de GEI (CO₂) generados por las modalidades de imagenología (Rx,TC,RM) ayudará a la comprensión del peligro ambiental del uso excesivo de las imágenes diagnósticas.

Figura 7

Discusión: las emisiones de CO₂.

Tras entender los efectos del calentamiento global y el rol de los centros sanitarios en la generación de GEI, entendemos como un desafío ineludible la elaboración de medidas destinadas a disminuir nuestro aporte en la huella de carbono:

- Anteponer siempre el interés de los pacientes y no denegar nunca un estudio de imagen por motivos de sostenibilidad. Sin embargo, si se puede elegir entre varias modalidades de diagnóstico por imagen, hay que tener en cuenta el impacto medioambiental de cada una de ellas a la hora de tomar decisiones y elegir la opción que consuma menos energía entre los tipos de exploración adecuados para cada paciente y patología.
- Apagar los sistemas de diagnóstico por imagen y monitores cuando no estén en uso.
- Hacer un manejo eficiente de los residuos.
- Reducción de la inaceptable tasa de exploraciones por imagen inadecuadas y exámenes radiológicos injustificados.

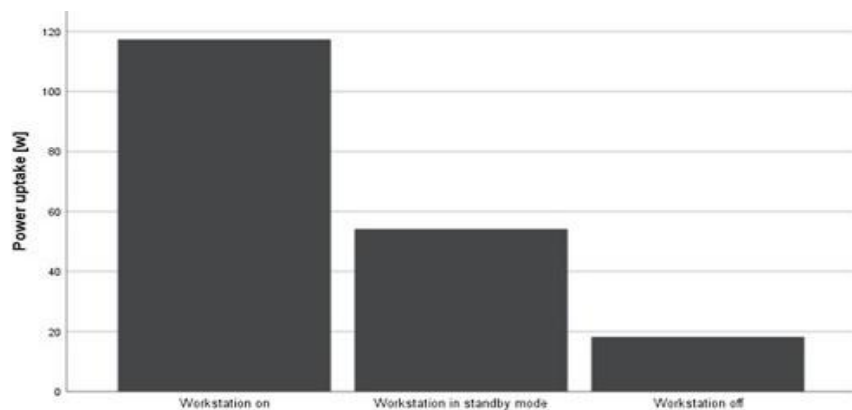
Nota. Puntos brindados en el estudio de Garcés .et .al (2024), donde da recomendaciones para la reducción de la huella de carbono. Tomado de: <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9815/8281>

En estudios ya más enfocados a la situación actual en hospitales colombianos, donde aún coexisten ambas tecnologías CR y DR, como en el estudio de Unión Medical (2024), donde señalan las fuentes renovables de energía para los hospitales, el ejemplo de un hospital en España (Infanta Sofía de Madrid), donde se aplicó este tipo de energía y al utilizarla en los servicios al 100% permitió rebajar el 50% de las emisiones de CO₂ (GEI) en 5 años. Adicional, en el estudio de Garcés, et. Al(2024), indican propuestas de cambio como el apagar las estaciones de trabajo al terminar la jornada laboral, ya que estas estaciones contribuyen al elevado consumo de energía de los puntos de radiología de los hospitales, y además trae a colación el tema de los medios de contraste utilizados para los estudios especiales, ya que la práctica clínica no solo se considera en gasto de energía para generación de gases efecto invernadero (GEI), logrando en ese estudio dirigir promociones (figura 3) que apoyen y disminuyan el aporte de la huella de carbono por parte de los departamentos de radiología; por otro lado un estudio del 2021 desmiente algunas de estas propuestas, ya que realizó una “desconexión hacia el futuro” llegando al punto de los escenarios que laboran 24/7 y realizaron esta prueba de apagar o suspender algunos equipos que no se usaran en determinado tiempo, concluyendo que: los empleados o personal tecnológico de radiología no cumplen con la instrucción ya que no se logró un resultado productivo y se encontró que la desventaja es: “el tiempo de espera para reiniciarlas manualmente”, evidenciando que la contribución de los tecnólogos es importante; sin embargo la tendencia a los

tiempos de atención en salud afectan si los equipos se demoran en dar un inicio rápido; para esos estándares de tiempo que son importantes, la estrategia se considera un punto importante falta compartirlo con los fabricantes de los equipos radiológicos, para que ellos den su punto de observación y hacer equipos que tengan una forma de iniciado rápido después de un estado de suspensión para especialmente equipos de los servicios de urgencias.

Figura 10

Dato estadístico de Los Escenarios, y su Comparación en el Uso de Energía



Visor de figuras

Fig. 3 Diagrama de barras que ilustra las diferencias en el consumo de energía medido para una estación de trabajo en modo encendido, modo de espera y modo apagado.

Nota. consumo de energía promedio en el estudio de Buttner. Et.al (2021), Tomado de:

[https://www.ejropean.com/article/S2352-0477\(20\)30109-X/fulltext](https://www.ejropean.com/article/S2352-0477(20)30109-X/fulltext)

, este análisis permitió obtener el resultado de que en el proceso de sustitución de tecnologías, la radiología digital representa un avance significativo, pero debe estar acompañada de más políticas de uso con estrategias sobre la energía generada por los equipos, además de la falta de capacitación sobre el cuidado ambiental al personal de salud y una transición hacia energías renovables en la infraestructura del hospital que si es necesaria o equipos más amigables con la generación de gases efecto invernadero (GEI); así podrá consolidarse como una acción en materia tecnológica realmente sostenible, para el sector salud con las metas de reducción de la huella de carbono en el país.

Tabla 1*Relación De Referencias Y Relación De Documentos*

Autor, revista, año	País	Tipo de estudio	Sujetos y origen	Medida de resultado	Conclusiones
Contreras, J. et al., Nova, 2022	Colombia	Revisión documental	Hospitales de baja y mediana complejidad en Colombia	Estrategias óptimas de radiología digital en servicios de imagenología	La radiología digital contribuye al mejoramiento de la calidad en el servicio de imagenología, ofreciendo imágenes más precisas e instantáneas.
Xiangyu, Et.al. spgj. sience. 2021	China	Programa Nacional de Investigación y Desarrollo Clave de China	Proyecto Principal de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Fujian	Estudio de compañeros de la UNAD sobre eficiencia operativa, técnica, impacto ambiental y sostenibilidad de tecnologías de TC.	Nuevas oportunidades a las comunidades científicas e industriales. Considerando los avances fundamentales y técnicos de los detectores de rayos X

Autor, revista, año	País	Tipo de estudio	Sujetos y origen	Medida de resultado	Conclusiones
McAlister, Scott, et al. The Lancet regional health. 2022	Australia	The Lancet Salud Regional – Pacífico Occidental	Hospitales	La huella de carbono del diagnóstico por imágenes	Por lo tanto, en este estudio concluimos, estimar la huella de carbono de cinco modalidades de imagenología comunes en un entorno hospitalario tomografía computarizada (TC); resonancia magnética (RM); ecografía (ECO); radiografía de tórax (RXT); y radiografía de tórax móvil (RXMC)
Mendoza C, Y. Repositoriunipamplona.2020	Colombia Norte De Santander	Universidad de pamplona	Hospital San Juan de Dios	Determinación de la Huella de Carbono en los Procesos Generados en la E.S.E Hospital San	Para concluir se logró caracterizar como calcular huella de carbono y la mitigación del mismo disminuir el uso de GEI y procesos sobre la instalación de diferente áreas en el Hospital san juan de dios de pamplona.

Nota. Conclusiones de los documentos relacionados para la investigación, comparando su resultado frente a la eficiencia energética y la huella de carbono de la tecnología en radiología digital.

Conclusiones

Para finalizar, esta investigación permitió identificar las principales diferencias entre la radiología computada (CR) y la radiología digital (DR), así como los impactos de la transición tecnológica en imágenes diagnósticas. Se evidenció que la actualización hacia equipos digitales, particularmente en la modalidad directa, representa un avance significativo para la reducción del tiempo de exposición a la radiación y la optimización del consumo de energía, un factor que se relaciona directamente con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Asimismo, se logró responder a la pregunta de investigación, concluyendo que la integración de fuentes de energías renovables en los servicios de radiología es una medida viable y necesaria, sobre todo para las instituciones hospitalarias y centros de atención radiológica. Aunque la inversión inicial puede ser considerablemente costosa, los beneficios ambientales a mediano o largo plazo justifican dicho cambio. Además, es evidente la urgencia de fortalecer la formación del personal en prácticas sostenibles y cuidado ambiental, incluyendo el uso racional de imágenes diagnósticas y el apagado de equipos durante los recesos laborales y promover una cultura sobre la sostenibilidad, esto contribuirá no solo en el cumplimiento de metas ecológicas, sino también en el desarrollo de conciencia ambiental para el sector salud, especialmente en lo relacionado con la modernización tecnológica de los servicios de radiología.

Referencias Bibliográficas

- Contreras, J., Rodríguez, L. A. J., & Suarez, R. G. (2022). Contribución de la radiología digital al mejoramiento de la calidad en el servicio de imagenología. *REVISTA NOVA*, 20(39), 25-47. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/2013/3045>
- Garcés Iñigo, E., Miranda Gozalbo, V., Garrido Molla, N., Rojo Soriano, F., Morillo Fernandez, J. L., Megina Fort, A., & Redón Sebastián, S. (2024). Como reducir la huella de CO2 en un hospital comarcal. *Seram*, 1(1). Recuperado a partir de <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9815> <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2020.100320>
- Gómez. R. C., Corredor. S. C., Aluja. F *Universitas Medica*, (2021) Implementación del distanciamiento social en la enseñanza de radiología e imágenes diagnósticas. Tomado de: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed62-2.dist>
- Karliner, J., Slotterback, S., Boyd, R., Ashby, B., & Steele, K. (2019). *Huella climática del sector de la salud: Cómo contribuye el sector de la salud a la crisis climática global: Oportunidades para la acción*. Salud sin Daño y Arup. Recuperado de <https://www.saludsindanio.org/HuellaClimaticaSalud>
- L. Büttner, H. Posch, T.A. Auer, M. Jonczyk, U. Fehrenbach, B. Hamm, H.C. Bauknecht, G. Böning, Desconexión hacia el futuro: estimación de costes y un enfoque sencillo para mejorar la huella ecológica de los departamentos de radiología (Volume 8,2021) .Tomado de: <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2020.100320>
- M.N.K. Anudjo, C. Vitale, W. Elshami, A. Hancock, S. Adeleke, J.M. Franklin, T.N. Akudjedu, Considerations for environmental sustainability in clinical radiology and radiotherapy practice: Volume 29, Issue 6,2023, <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.09.006>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817423001736>

McAlister, Scott, et. Al. La huella de carbono del diagnóstico por imágenes en hospitales de Australia. *The Lancet Regional Health – Western Pacific*,(2022), volumen 24, 100459
Tomado de: [https://www.thelancet.com/journals/lanwpc/article/PIIS2666-6065\(22\)00074-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanwpc/article/PIIS2666-6065(22)00074-8/fulltext)

Mendoza C, Y. (2020). Determinación de la Huella de Carbono en los Procesos Generados en la E.S.E Hospital San Juan de Dios de Pamplona, Norte de Santander. Pamplona, Norte de Santander, tomado de:
http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/8877/1/Mendoza_2020_TG.pdf

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. República de Colombia. RES1447/2018. Tomada de: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf>

Niño Herrera, P. A., & González Hernández, L. V. (2024). Formulación de estrategias de Hospital Verde, para el Hospital Universitario de San José.
<https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/e104a932-0062-4445-ad90-a283d556895e>

Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Informe sobre sostenibilidad ambiental*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/medioambiente/>

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Salud y cambio climático: una guía para sistemas sostenibles*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240036727>

Pérez Araque, L. M. (2021). Análisis de la huella de Carbono en el sector hospitalario en Colombia. tomado de:
<https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:v7LLSpiocBQJ:scholar.google.c>

om/+P%C3%A9rez+Araque,+L.+M.+(2021).+An%C3%A1lisis+de+la+huella+de+Carb
ono+en+el+sector+hospitalario+en+Colombia.+&hl=es&as_sdt=0,5

S. Clay. bBlock Imaging. (2022). Radiografía digital:CR Vs. Paneles planos DR. Recuperado de:

<https://www.blockimaging.com/es/digital-x-ray-cr-vs.-dr>

Schoen Julia, Geraldine B. McGinty, Cody Quirk, Radiology in Our Changing Climate: A Call to Action, Journal of the American College of Radiology, Volume 18, Issue 7,2021,Pages 1041-1043,ISSN 1546-1440, <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2021.02.009> .

Unión Medical. (2024). ¿Cómo lograr la eficiencia energética en un hospital? Obtenido de Unión Medical: <https://um.com.co/blog/como-lograr-la-eficiencia-energetica-en-un-hospital/>

Walwyn Salas, Gonzalo, González Mesa, et. al. (2020). CPHR: Protección Radiológica, la Salud y el Medio Ambiente en cuba. *Nucleus*,de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2020000100006&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2020000100006&lng=es&tlng=es)

Woernle A, Moore CM, Allen C, Giganti F. Footprints in the scan: reducing the carbon footprint of diagnostic tools in urology. *Curr Opin Urol.* (2024). Tomado de:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11309339/>

Xavier.P.M, Rivas Ballarin.M. Á, Valverde.j.m, Ruiz.P, Molero.J, Rodriguez.M; Fundamentos de física médica. Volumen 2. Bases físicas, equipos y control de calidad en radiodiagnóstico (2019). <http://proteccionradiologica.cl/wp-content/uploads/2016/08/4-Libro-Volumen-2-fisica-medica-espa%C3%B1ol.pdf>

Xiangyu, Chen Xue, Xu Xian Ning, Lili Xie, Xiaofeng Chen, Hong Zhongzhu, Hua Bai, Xiao Wang Liu, Qiushui Chen, Lin Li y otros. Desarrollo reciente en tecnología de imágenes

por rayos X: futuro y desafíos. Investigación. 2021;tomado de:

<https://spj.science.org/doi/10.34133/2021/9892152>