

**Principales desafíos en el avance tecnológico del sistema de radiación en los hospitales de
Colombia en los años 2020 a 2024**

José Julián Gómez Martínez

Luisa Fernanda Martínez Navia

Robinson Mena Ramírez

John Jairo Mendoza Ramírez

María del Carmen Mosquera Moreno

Asesor

Edna Rocío Jamaica

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias de la Salud - ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas

2025

Resumen

El presente trabajo analiza los principales desafíos enfrentados por el sistema hospitalario colombiano en la implementación y desarrollo de tecnologías avanzadas de radiación durante el periodo 2020-2024, en el contexto de la pandemia por COVID-19. Mediante una revisión documental y descriptiva, se identifican avances significativos como la integración de equipos de rayos X digitales, tomografía computarizada de última generación e inteligencia artificial en instituciones de referencia como el Hospital Internacional de Colombia, el Hospital de Kennedy y el Hospital Departamental de Villavicencio. A su vez, se evidencian obstáculos estructurales relacionados con la distribución desigual de la tecnología en regiones rurales, la limitada capacitación del talento humano en salud y los vacíos en la regulación y control. Este estudio busca aportar a la reflexión académica sobre la sostenibilidad tecnológica en radiología diagnóstica, así como fortalecer las estrategias de equidad, calidad y seguridad radiológica en el sistema de salud colombiano.

Palabras clave: radiología, avances tecnológicos, COVID-19, radiación médica, Colombia.

Abstract

This study analyzes the main challenges faced by the Colombian hospital system in the implementation and development of advanced radiation technologies during the 2020–2024 period, within the context of the COVID-19 pandemic. Through a descriptive and documentary review, significant advances are identified, including the integration of digital X-ray systems, state-of-the-art computed tomography, and artificial intelligence in leading institutions such as the International Hospital of Colombia, Kennedy Hospital, and the Departmental Hospital of Villavicencio. The research also highlights structural barriers such as the unequal distribution of technology in rural areas, limited training of healthcare professionals, and gaps in regulation and oversight. This study aims to contribute to the academic discussion on sustainable technological progress in diagnostic radiology, and to support strategies for equity, quality, and radiation safety in the Colombian health system.

Keywords: Radiology, technological advances, COVID-19, medical radiation, Colombia

Tabla de Contenido

Introducción	8
Planteamiento del Problema	10
Justificación	13
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco Teórico.....	17
Equipos de ultrasonido de Mindray	20
El Doppler a Color	21
Ultrasonidos Portátiles	21
Equipos de Rayos X.....	21
Tomosíntesis	21
Equipos de tomografía computarizada (TC).....	22
TC de Dosis Baja	22
TC multicorte	22
Fundamentación Teórica.....	28
Radiología Digital.....	28
Inteligencia Artificial (IA) en Radiología.....	28
Protección Radiológica	29
Radiografía Computarizada	29
Marco Metodológico.....	30
Enfoque y Tipo de Investigación	30

Recolección de la Información y Criterios de Selección	30
Población y Muestra	31
Fases Metodológicas.....	32
Resultados.....	33
Conclusiones.....	38
Referencias Bibliográficas	40

Lista de Tablas

Tabla 1 *Fases Metodológicas* 32

Tabla 2 *Hallazgos* 33

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Mapa Conceptual Desafios que Enfrenta el Sistema de Radiación en Colombia</i>	36
-----------------	--	----

Introducción

El avance tecnológico en los sistemas de radiación médica representa un eje estratégico en la transformación del modelo de atención en salud, particularmente en contextos como el colombiano, donde las brechas en infraestructura, formación del talento humano y acceso a la tecnología son evidentes. La reciente pandemia de COVID-19 actuó como catalizador para acelerar procesos de modernización tecnológica en hospitales del país, revelando tanto el potencial de las nuevas herramientas diagnósticas como las profundas desigualdades regionales que afectan su implementación. En este escenario, la radiología y la radioterapia emergieron como campos prioritarios, no solo por su capacidad diagnóstica frente a patologías respiratorias y oncológicas, sino por su valor estratégico en la reorganización del sistema hospitalario.

Este estudio cobra relevancia al centrarse en el análisis de los desafíos enfrentados por Colombia en la adopción de tecnologías de radiación entre 2020 y 2024, un periodo caracterizado por una aceleración forzada de la innovación en medio de una crisis sanitaria sin precedentes. A través de una revisión documental y crítica de literatura especializada, el trabajo aporta evidencia sobre los avances alcanzados en instituciones de referencia, al tiempo que identifica factores estructurales que aún limitan su alcance: inequidad territorial, déficit en la formación continua y falta de políticas sostenibles de mantenimiento y regulación.

Más allá de su valor académico, esta investigación ofrece una contribución significativa a los procesos de toma de decisiones en el ámbito de la gestión en salud, proporcionando insumos relevantes para fortalecer la equidad tecnológica, mejorar la seguridad radiológica y optimizar los procesos de atención médica en contextos vulnerables. Asimismo, se proyecta como base para futuras investigaciones en ciencias de la salud, al brindar una mirada crítica sobre el rol de la tecnología en la garantía del derecho a la salud en Colombia.

Es por ello que el presente proyecto se estructura en varios apartados que permiten una comprensión progresiva del fenómeno analizado. Inicia con el planteamiento del problema, donde se contextualizan las principales dificultades en la adopción tecnológica del sistema de radiación en Colombia. Luego, se desarrollan la justificación, los objetivos y el marco teórico, que ofrece una revisión exhaustiva sobre los conceptos clave, antecedentes y estudios previos.

Posteriormente, se expone el marco metodológico, que define el enfoque cualitativo y documental de la investigación, seguido de la presentación de los resultados y conclusiones, en los cuales se integran los hallazgos más relevantes y se proponen líneas de reflexión sobre los desafíos y oportunidades de mejora. Este orden lógico asegura una construcción coherente del conocimiento, orientada tanto a la comprensión del presente como a la formulación de estrategias futuras en el ámbito de la salud pública y la innovación médica.

Planteamiento del Problema

La pandemia de COVID-19 representó un desafío sin precedentes para los sistemas de salud a nivel mundial, impactando de forma especialmente crítica en países con estructuras sanitarias desiguales, como Colombia. En este contexto, el sistema de salud colombiano evidenció tanto debilidades estructurales como oportunidades de modernización, particularmente en áreas tecnológicas asociadas al diagnóstico y tratamiento mediante radiación médica. Aunque la crisis sanitaria actuó como catalizador para la adopción acelerada de nuevas tecnologías, lo cierto es que muchas de estas innovaciones llegaron de forma tardía o desigual, sobre todo en comparación con estándares internacionales.

Según Ocampo (s.f.), codirector del Banco de la República, “la inversión en investigación y desarrollo que realiza el país es vergonzosamente baja”, situándose apenas en un 0,24 % del Producto Interno Bruto. Este dato revela una de las causas estructurales del rezago tecnológico en el sistema de salud: la limitada asignación de recursos para innovación científica y tecnológica. En efecto, antes de la pandemia, el país ya enfrentaba serias deficiencias en infraestructura hospitalaria, disponibilidad de equipos de radiodiagnóstico modernos y formación del talento humano especializado. Estas debilidades se agravaron en medio de la emergencia sanitaria, afectando la capacidad de respuesta institucional, especialmente en regiones rurales y de difícil acceso.

Durante el periodo 2020-2024, el sistema de radiación en Colombia experimentó una serie de transformaciones impulsadas por la urgencia del contexto pandémico. Entre los avances más destacados se encuentra la implementación de tecnologías como la radioterapia hipofraccionada, los equipos portátiles de rayos X, la digitalización de historias clínicas y la introducción de software de planificación remota. No obstante, estos avances se concentraron

mayoritariamente en centros urbanos y en hospitales de alta complejidad del sector privado, lo cual evidenció un patrón de desigualdad estructural en la distribución de recursos tecnológicos.

Uno de los problemas centrales radica en la centralización de los avances en salud en pocas instituciones, dejando por fuera a gran parte del sistema hospitalario nacional. De hecho, solo algunos hospitales, como el Internacional de Colombia (HIC), el Hospital de Kennedy y el Hospital Departamental de Villavicencio, han incorporado equipos de última generación, mientras que muchas instituciones públicas aún operan con tecnologías obsoletas. Esta situación se ve agravada por la falta de cobertura energética adecuada en zonas no interconectadas, donde más de 1.700 localidades dependen de electricidad por solo algunas horas al día, lo que imposibilita el uso sostenido de equipos de radiología avanzada (El Tiempo, s.f.).

Otro factor crítico identificado es la insuficiente capacitación del personal médico y técnico en el uso de nuevas tecnologías. La modernización de los equipos requiere de conocimientos actualizados y competencias especializadas en protección radiológica, manejo de software clínico y seguimiento de protocolos de bioseguridad. Sin embargo, según estudios realizados por universidades nacionales, muchos hospitales no cuentan con la logística ni el recurso humano suficiente para garantizar un uso óptimo y seguro de estos dispositivos (UNAL, 2018). Esta falta de formación contribuye no solo a una subutilización de las tecnologías disponibles, sino también a posibles errores clínicos o exposiciones innecesarias a la radiación.

Además de estas causas estructurales, existen consecuencias que se manifiestan directamente en la calidad de la atención al paciente. La desigualdad en el acceso a tecnología radiológica avanzada reduce las posibilidades de diagnóstico temprano y tratamiento oportuno, especialmente en patologías oncológicas. En términos de salud pública, esta brecha puede traducirse en mayores tasas de complicaciones, diagnósticos tardíos y un aumento en los costos

hospitalarios por tratamientos más prolongados o complejos. También afecta el principio de equidad en salud, dejando en desventaja a las poblaciones que viven fuera de los principales centros urbanos.

Pese a los esfuerzos del Ministerio de Salud y de organizaciones internacionales como el OIEA para fortalecer la infraestructura hospitalaria, los avances logrados aún no logran cerrar las brechas existentes. Iniciativas como la implementación del PET/CT o del TAC multicorte han sido importantes, pero siguen siendo casos aislados dentro de un panorama más amplio caracterizado por la fragmentación y la insuficiencia regulatoria.

En vista de lo anterior, se plantea la necesidad de abordar críticamente el estado actual del sistema de radiación en Colombia, no solo para identificar los avances, sino para comprender los factores que impiden su consolidación y expansión sostenida. Esta reflexión lleva a formular la siguiente pregunta orientadora:

¿Cuáles han sido los principales desafíos en el avance tecnológico para el sistema de radiación en los hospitales de Colombia en los años 2020 a 2024?

Justificación

En el contexto sanitario generado por la pandemia de COVID-19, el uso de tecnologías médicas avanzadas, especialmente en radiología y radioterapia, se convirtió en un pilar esencial para garantizar una atención diagnóstica oportuna. En Colombia, este periodo motivó una aceleración en la incorporación de equipos modernos en hospitales públicos y privados, lo que supuso no solo una respuesta inmediata a la crisis, sino también una oportunidad para modernizar el sistema de salud en aspectos relacionados con el diagnóstico por imágenes.

Frente a esta transformación, resulta fundamental indagar cómo estos avances han sido implementados, en qué medida han contribuido a la mejora en la atención médica, y cuáles son las brechas que aún persisten. Tal como plantea Peller (s.f.), radiólogo asociado al OIEA, “la evolución tecnológica permitió ver el interior del cuerpo y detectar complicaciones como lesiones, neumonía o coágulos sanguíneos en los pulmones durante la pandemia”, lo que refleja la importancia clínica de estos desarrollos en contextos de alta exigencia.

Asimismo, existen interrogantes claves que justifican este estudio: ¿Qué tipo de tecnologías de radiación y monitoreo se utilizan actualmente en los hospitales del país?, ¿Hasta qué punto se ha logrado una mejora significativa en la seguridad y la calidad del diagnóstico?, ¿Existen brechas tecnológicas que impiden una implementación equitativa de estas innovaciones?, ¿En qué Hospitales o clínicas se encuentran estos equipos de radiación?. Estas preguntas permiten enfocar la investigación no solo en los logros, sino también en los obstáculos estructurales que condicionan la sostenibilidad de los avances tecnológicos en el sistema de salud colombiano.

Desde un punto de vista científico y tecnológico, la investigación contribuirá a analizar cómo la modernización del sistema de radiación puede ser potenciada mediante tecnologías de

monitoreo inteligente, como sensores digitales y plataformas IoT, en línea con las tendencias globales en protección radiológica. Esta línea de análisis se alinea con normativas internacionales como las emitidas por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), así como con regulaciones nacionales como la Resolución 482 de 2018 del Ministerio de Salud de Colombia, que establece los requisitos técnicos para el uso de equipos emisores de radiación ionizante.

Desde la dimensión social y de salud pública, esta investigación busca aportar a la construcción de estrategias que mejoren la seguridad de los pacientes y el personal sanitario. En ese sentido, se destacan experiencias de hospitales como el Hospital Internacional de Colombia (HIC), el Hospital Kennedy en Bogotá y el Hospital de Villavicencio, instituciones que han avanzado en la adopción de equipos de radiología digital, tomografía de alta precisión y sistemas de gestión de dosis, posicionándose como referentes en la región.

No obstante, este progreso no ha sido homogéneo. Tal como lo señala Forero (2024), solo un 33 % de las tecnologías modernas en radiología están disponibles en ciudades intermedias y zonas rurales, lo que evidencia una desigualdad en la distribución geográfica del acceso a la innovación tecnológica. Además, factores como el alto costo de adquisición de equipos, la falta de infraestructura hospitalaria adecuada y la necesidad constante de capacitación técnica del personal de salud siguen siendo barreras que dificultan la expansión de estas soluciones en todo el territorio nacional.

El periodo analizado en esta investigación, comprendido entre 2020 y 2024, es clave porque refleja un punto de inflexión en el sistema de salud colombiano. En este lapso, la pandemia puso a prueba la capacidad de adaptación tecnológica del país y obligó a acelerar

procesos que históricamente han tenido una lenta evolución, como la digitalización de los servicios de diagnóstico.

En conclusión, este estudio es relevante porque permitirá evaluar críticamente los avances tecnológicos implementados en el sistema de radiación en Colombia, con énfasis en su impacto en la seguridad radiológica, la reducción de riesgos y la eficiencia en la atención al paciente. Así mismo, facilitará la identificación de estrategias que puedan fortalecer la equidad tecnológica, la capacitación del talento humano y la sostenibilidad de estas innovaciones en el sistema de salud colombiano.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los principales desafíos en el avance tecnológico del sistema de radiación en los hospitales de Colombia en los años 2020 a 2024

Objetivos Específicos

Identificar la historia del sistema de radiación a nivel general.

Determinar los avances tecnológicos respecto al sistema de radiación en los hospitales en el año 2020 a 2024

Evidenciar los desafíos que han presentado los avances tecnológicos en los hospitales de Colombia

Marco Teórico

La radiología es una disciplina médica fundamental que ha evolucionado significativamente gracias a los avances tecnológicos en el procesamiento y almacenamiento de imágenes médicas. Un sistema de radiología abarca tanto los principios teóricos como los aspectos técnicos involucrados en la obtención, interpretación y gestión de imágenes diagnósticas.

En el presente marco teórico se abordan, en primer lugar, los antecedentes históricos y conceptuales del sistema de radiación, incluyendo su descubrimiento y los tipos existentes. En segundo lugar, se contextualiza el impacto de la pandemia de COVID-19 en el sistema de salud colombiano, así como las tecnologías innovadoras adoptadas en los hospitales del país. En tercer lugar, se presentan antecedentes bibliográficos claves que aportan evidencia sobre los avances tecnológicos en radiología y sus desafíos. Finalmente, se revisan las entidades responsables de la regulación, gestión y normatividad del sistema de radiación en Colombia, con el fin de ofrecer una visión integral de la evolución tecnológica en este campo.

Este orden obedece a un enfoque de general a particular, siguiendo un criterio lógico que permite al lector comprender el origen, evolución y estado actual del sistema de radiación en Colombia desde múltiples perspectivas científicas.

Historia y conceptualización de la radiación

En primer lugar, para comprender el desarrollo de los sistemas de radiación en el ámbito médico, es indispensable retroceder a sus orígenes históricos y conceptuales. Este sistema puede dividirse en dos componentes esenciales: el concepto de “sistema”, entendido como el conjunto organizado de elementos técnicos y metodológicos para la producción y gestión de imágenes

diagnósticas; y el concepto de “radiación”, como fenómeno físico descubierto en el marco de investigaciones científicas de finales del siglo XIX.

Según Martín (s.f.), “la historia de la radiactividad es un cuerpo heterogéneo de experimentos y descubrimientos a finales del siglo XIX que acabó desembocando en el conocimiento de varios procesos físicos”. En esta línea, se reconoce una cronología de descubrimientos clave que marcaron el inicio de la radiología médica.

Uno de los hitos más relevantes se sitúa en 1895, cuando Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923), director del Instituto de Física de la Universidad de Würzburg en Alemania, observó un fenómeno inusual al trabajar con tubos de rayos catódicos recubiertos con papel negro y una pantalla con platino-cianuro de bario. Al conectar la corriente, detectó fluorescencia en una sustancia colocada a distancia del tubo, concluyendo que se trataba de una nueva forma de radiación, a la cual denominó “rayos X”.

Posteriormente, en 1897, George Gabriel Stokes propuso la hipótesis de que estos rayos eran una forma de radiación electromagnética. Esta hipótesis fue confirmada por Max von Laue en 1912 mediante experimentos de difracción, que demostraron la naturaleza ondulatoria de los rayos X. Paralelamente, otro descubrimiento fundamental fue realizado por la científica Marie Sklodowska Curie (1867-1934), quien identificó la radioactividad natural del uranio, sentando así las bases para el desarrollo de las aplicaciones médicas de la radiación.

Desde una perspectiva conceptual, la radiación puede definirse como una forma de energía que se propaga en el espacio mediante ondas electromagnéticas o partículas. De acuerdo con Galindo (2024), fuentes comunes de radiación en la vida cotidiana incluyen el sol, los hornos de microondas y las señales de radiofrecuencia. El Consejo de Seguridad Nuclear (s.f.) coincide

en definirla como “la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas”.

Es importante señalar que existen dos tipos principales de radiación: la ionizante y la no ionizante. Según Castilla y León (2018), la radiación no ionizante “no tiene la energía suficiente para romper los enlaces de los átomos de la materia con la cual interacciona”, y puede tener origen artificial, como las ondas de radio, televisión y telefonía móvil, o natural, como la luz ultravioleta del sol. En cambio, la radiación ionizante sí posee la capacidad de alterar la estructura atómica de los materiales que atraviesa, generando procesos de ionización que la hacen útil en medicina para la producción de imágenes internas del cuerpo humano.

Estas radiaciones ionizantes pueden ser de origen natural; como la radiación cósmica o la que emana de la corteza terrestre, o artificial, siendo los rayos X y los isótopos radiactivos ejemplos representativos. En los países desarrollados, se ha documentado que las exposiciones médicas constituyen la principal fuente de radiación ionizante para la población general, lo que refuerza la necesidad de regular y controlar estrictamente su uso.

Por tanto, entender estos fundamentos históricos y técnicos resulta esencial para analizar críticamente la evolución del sistema de radiación en Colombia, especialmente en un contexto como el de la pandemia por COVID-19, en el que dichas tecnologías adquirieron un rol protagónico en el diagnóstico clínico y el monitoreo de pacientes.

Dicho lo anterior, y teniendo en cuenta qué es la radiación, quiénes la descubrieron y qué tipos existen, se hace necesario abordar un hecho histórico en el cual su uso tuvo un papel fundamental: la pandemia de COVID-19. Esta crisis sanitaria global, causada por el virus SARS-CoV-2, marcó uno de los eventos más relevantes del siglo XXI. Desde su aparición en Wuhan,

China, a finales de 2019, se expandió rápidamente, generando múltiples consecuencias en los sistemas de salud, incluidas importantes transformaciones tecnológicas.

En Colombia, el impacto fue significativo. Se registraron aproximadamente 42.727 fallecimientos por causa del virus (Datos Macro, 2024). Esta coyuntura puso en evidencia las debilidades estructurales del sistema de salud, pero también incentivó avances, especialmente en el uso de tecnologías aplicadas a los equipos de radiación. Según la Radio Nacional de Colombia (2020), el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) donó equipos y reactivos al Instituto Nacional de Salud (INS), fortaleciendo la capacidad diagnóstica a través de pruebas RT-PCR, reconocidas por su alta confiabilidad.

Durante la pandemia, tecnologías como los rayos X, la resonancia magnética y la tomografía computarizada experimentaron mejoras notables. Estas herramientas permitieron obtener imágenes internas del cuerpo con una precisión sin precedentes, fundamentales para el diagnóstico de complicaciones asociadas al COVID-19, como neumonías o trombos pulmonares.

A continuación, se presenta una clasificación de algunos de los principales equipos de imágenes diagnósticas utilizados en este contexto, basada en el reporte de Promedco (2023):

Equipos de ultrasonido de Mindray

Estos equipos mejoran la resolución y la calidad de las imágenes que generan los ultrasonidos, lo que permite una visualización más clara de los tejidos y órganos. Entre ellos; Ultrasonido en 3D y 4D: Estas tecnologías permiten la reconstrucción tridimensional de los órganos y estructuras anatómicas, lo que brinda una mejor comprensión espacial de los tejidos y una visualización más realista en tiempo real.

El Doppler a Color

El Doppler a color permite la evaluación del flujo sanguíneo, mostrando la dirección y velocidad de los vasos sanguíneos en diferentes colores en tiempo real. Esto es especialmente útil en el estudio del sistema cardiovascular y en la detección de anomalías en el flujo sanguíneo.

Ultrasonidos Portátiles

Los ultrasonidos portátiles actuales están equipados con sondas y tecnología avanzada que proporciona imágenes de alta calidad en tiempo real. Además, son especialmente útiles en situaciones de emergencia, atención domiciliaria, áreas rurales o en entornos con recursos limitados, ya que brindan la capacidad de realizar evaluaciones rápidas y precisas sin necesidad de trasladar al paciente a un centro médico.

Equipos de Rayos X

Los equipos de rayos X son ampliamente utilizados en el campo de la radiología para obtener imágenes de estructuras internas del cuerpo. Entre ellas; Radiografía digital: En lugar de utilizar películas radiográficas tradicionales, se utilizan detectores digitales que convierten la radiación en imágenes digitales. Esto permite una visualización instantánea de las imágenes, optimizando los tiempos de atención y entrega de resultados, evitando el uso de químicos dañinos y contaminantes.

Tomosíntesis

La tomosíntesis, también conocida como mamografía en 3D, es una técnica de imagen que captura múltiples imágenes de rayos x de diferentes ángulos y luego las reconstruye en una imagen tridimensional

Equipos de tomografía computarizada (TC)

La tomografía computarizada utiliza una serie de imágenes de rayos X tomadas desde diferentes ángulos para crear imágenes transversales detalladas del cuerpo. Los avances tecnológicos en la TC han llevado a mejoras en la velocidad de adquisición de imágenes, la calidad de imagen y la reducción de la dosis de radiación. Algunas características destacadas de los equipos de TC modernos son:

TC de Dosis Baja

Se han desarrollado técnicas para reducir la dosis de radiación en la TC sin comprometer la calidad de imagen, lo que es especialmente beneficioso para los pacientes pediátricos y aquellos que requieren múltiples exploraciones.

TC multicorte

Los equipos de TC multicorte pueden adquirir múltiples imágenes en un solo giro, lo que permite estudios más rápidos y una mayor cobertura del cuerpo. Esto es especialmente útil en la evaluación de enfermedades cardiovasculares, traumas y enfermedades pulmonares. TC de alta resolución: La TC de alta resolución proporciona imágenes con detalles anatómicos más nítidos, lo que facilita la detección y el seguimiento de enfermedades pulmonares, vasculares y óseas.

En Colombia solo algunos hospitales cuentan con estos equipos modernos, aquí se puede destacar el Hospital Internacional de Colombia (HIC, s.f) cuenta con el primer equipo PET/CT en toda la región, con fines diagnósticos y terapéuticos. Ahora bien; para el año 2021 en la Ciudad de Bogotá exactamente el hospital de Kenedy adquirió un Tomógrafo Axial Computarizado, TAC, el más moderno que existe en Latinoamérica, y fue entregado a la Subred Sur Occidente para beneficiar a por lo menos 2.5 millones de habitantes de la localidad.(Herrera, 2021) Otro de los Hospitales que adquirió un nuevo equipo de tomografía y un rayos x

convencional de última tecnología fue el Hospital Departamental de Villavicencio, Maryury Díaz Céspedes, menciona que “estos equipos permitirá separar la atención de pacientes ambulatorios de los pacientes hospitalizados” Gerente del Hospital Departamental de Villavicencio (Gómez, 2025).

Por otra parte, este marco teórico se fundamenta en estudios recientes que analizan los avances tecnológicos en el campo de la radiología, explorando su impacto en la optimización del diagnóstico por imágenes.

Entre ellos, se destaca el artículo “Aplicaciones emergentes de la tomografía computarizada en la medicina moderna: avances tecnológicos y beneficios clínicos”, de Guerrero et al. (2023), el cual examina la evolución de la tomografía computarizada (TC) y su influencia en la práctica médica. A través de una revisión bibliográfica y documental, los autores destacan innovaciones como el TAC Revolution EVO, que proporciona imágenes de alta resolución con menor dosis de radiación, y la tomografía con detector de conteo de fotones, que mejora la calidad diagnóstica sin requerir grandes volúmenes de medios de contraste. Además, subrayan el papel creciente de la inteligencia artificial (IA) en la interpretación de imágenes, lo que ha optimizado la precisión diagnóstica y reducido la carga de trabajo en hospitales. Concluyen que estos avances son esenciales para mejorar la atención médica, aunque persisten desafíos relacionados con la formación del personal y el acceso equitativo a la tecnología (Guerrero et al., 2023).

Los hallazgos de este estudio refuerzan la relevancia del presente trabajo, ya que evidencian cómo la evolución tecnológica ha optimizado los procesos radiológicos. Tal como afirman los autores, “la IA se ha convertido en un pilar central de la innovación médica” (Guerrero et al., 2023, p. 2291), lo que justifica el análisis del impacto de la automatización en la

radiología colombiana. No obstante, aún existen barreras en términos de equidad y formación profesional, lo que hace necesario evaluar la implementación de estos avances en el contexto local.

En esta misma línea, el estudio “Radiología 2.0: El Futuro de la Inteligencia Artificial en la Identificación e Interpretación de Imágenes Diagnósticas”, desarrollado por Parada, Quintero, Cetina y Carvajal (2023), aborda el papel de la IA en la detección automatizada de patologías, con énfasis en el cáncer de pulmón, colorrectal, de ovario y próstata. Mediante una investigación exploratoria y documental, los autores analizan múltiples ensayos clínicos en los que la IA ha optimizado la detección temprana de enfermedades, reduciendo el margen de error y mejorando la eficiencia de los diagnósticos. No obstante, el estudio también resalta desafíos éticos y legales asociados a la supervisión de los sistemas automatizados y la protección de datos en entornos médicos (Parada et al., 2023).

Los resultados de este trabajo son relevantes para la presente investigación, dado que reflejan el impacto positivo de la digitalización en la radiología, pero también los desafíos que su implementación conlleva. Tal como destacan los autores, “la inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la interpretación de imágenes radiológicas al mejorar la precisión, la velocidad y la eficiencia del diagnóstico” (Parada et al., 2023, p. 7). Sin embargo, persisten interrogantes sobre la equidad en el acceso a estas tecnologías y la capacitación del personal médico, lo que subraya la necesidad de evaluar su integración en el sistema de salud colombiano.

Por otro lado, el artículo de revisión “Inteligencia Artificial Aplicada a la Imagen Médica”, elaborado por Aguirre, Carballo, González y Gigirey (2021), explora el papel de la IA en la optimización de imágenes médicas, el reconocimiento de estructuras y la segmentación de lesiones. A través de una revisión documental, los autores analizan estudios recientes que

evidencian cómo el aprendizaje profundo (deep learning) ha mejorado la precisión diagnóstica. Sus hallazgos destacan que la IA no solo optimiza la calidad de las imágenes médicas, sino que también facilita su interpretación y automatiza el procesamiento de informes. No obstante, advierten sobre desafíos técnicos y éticos, tales como la dependencia de bases de datos de alta calidad y la necesidad de supervisión médica en la toma de decisiones clínicas (Aguirre et al., 2021).

En relación con el presente estudio, estos hallazgos confirman que la IA ha mejorado significativamente la segmentación de imágenes médicas, lo que ha facilitado la detección temprana de patologías. Sin embargo, la implementación de estos avances en entornos clínicos aún depende de factores como la infraestructura hospitalaria, la accesibilidad a tecnología avanzada y la formación especializada del personal de salud.

Por otra parte, complementando los antecedentes, se revisaron casos de éxito relacionados con equipos modernos y sus avances en la salud de los pacientes en Colombia. Gracias a la modernización y a los avances tecnológicos en el sistema de radiación, se logró mejorar el flujo de trabajo, la precisión diagnóstica, así como la calidad y resolución de las imágenes para su reconstrucción en 3D (Subredsubocci, 2021).

Por su parte, en el Hospital de Villavicencio, la gerente manifestó que la puesta en funcionamiento de estos equipos permitirá, entre otras cosas, obtener imágenes de alta calidad, con mejores tiempos de realización, facilitando el diagnóstico de lesiones y patologías de manera más rápida y efectiva (Gómez, 2025).

Para que estos equipos llegaran a Colombia, las entidades gubernamentales llevaron a cabo gestiones y establecieron regulaciones con el fin de garantizar la seguridad de los pacientes, del personal sanitario y del público en general. Entre los principales actores en esta gestión, se

encuentra el Ministerio de Salud y Protección Social, que define las políticas para el uso seguro de equipos de radiación en el ámbito médico. Por su parte, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) tiene la función de regular la importación, comercialización y uso de equipos de radiación ionizante en el sector salud.

De igual forma, la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAERRTD), en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía, supervisa aspectos relacionados con la seguridad radiológica en el país. En cuanto al marco normativo, destacan la Resolución 482 de 2018 y la Resolución 9074 de 1994, las cuales establecen los requisitos técnicos para la protección radiológica y el control de calidad en los equipos utilizados en radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear.

Adicionalmente, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) participó activamente en la instalación del Congreso E+Salud 2024, donde se reconoció la importancia del uso y la apropiación de nuevas tecnologías en el sector salud. Durante su intervención, se destacó que la inteligencia artificial (IA) está transformando la atención médica en Colombia, al mejorar la detección y diagnóstico temprano de enfermedades, y al permitir tratamientos más personalizados (MinTIC, 2024).

De igual manera, en el ámbito de inspección y vigilancia, organismos como el INVIMA y las secretarías de salud realizaron visitas regulares a clínicas y hospitales para verificar el cumplimiento de las normas de seguridad. En caso de detectarse incumplimientos, se establecen sanciones o suspensiones del servicio.

Pese a los avances logrados en Colombia, la regulación y el control de los equipos de radiación en el ámbito de la salud aún presentan desafíos significativos, especialmente en términos de cobertura, actualización tecnológica y vigilancia efectiva. Persisten problemas en

algunas regiones del país donde el control es más débil, particularmente en zonas rurales. Asimismo, se observa una carencia de equipos modernos en ciertas instituciones de salud pública, junto con la necesidad urgente de fortalecer la digitalización y la automatización en la gestión de dosis y el monitoreo de la radiación.

Sin embargo, al revisar estudios sobre los desafíos tecnológicos en el sistema de radiación en Colombia, se identifican dos investigaciones relevantes. La primera, desarrollada por Mosquera y Ethal (2024), corresponde a una propuesta internacional que agrupa a 33 centros de 13 países de la región, incluyendo a Colombia. Sus principales objetivos son:

Promover la cultura de seguridad radiológica en el intervencionismo pediátrico.

Mejorar la calidad de estos procedimientos en los centros participantes.

Definir estrategias de optimización basadas en la determinación y uso de los niveles de referencia para diagnóstico (NRD).

Producir un documento de consenso regional que oriente sobre la mejora en la optimización de la protección radiológica.

Por otra parte, el segundo estudio, realizado por Muriel y Ethal (2021), indica que los servicios de medicina nuclear atraviesan actualmente una etapa de múltiples desafíos de índole institucional, regulatoria y económica, lo cual pone en riesgo tanto el desarrollo como la sostenibilidad de esta especialidad en la atención del cáncer.

Ambos estudios, considerados como antecedentes cercanos al presente trabajo de investigación, permiten evidenciar las fortalezas y limitaciones en la implementación tecnológica del sistema de radiación en el país, aportando elementos clave para su análisis y mejoramiento continuo.

Fundamentación Teórica

Radiología Digital

La radiología digital es una técnica de obtención de imágenes médicas que ha transformado el diagnóstico clínico al reemplazar los sistemas analógicos por tecnologías digitales de alta precisión. A diferencia de la radiografía convencional, que emplea placas de película para registrar imágenes, la radiología digital utiliza sensores electrónicos que convierten los rayos X en datos digitales, lo que permite una mayor nitidez en la visualización y un procesamiento más eficiente de la información. Según Gómez et al. (2024), “la radiología digital no solo mejora la calidad de las imágenes, sino que también reduce significativamente la dosis de radiación a la que se exponen los pacientes” (p. 2). Además, este avance ha facilitado el almacenamiento y la transmisión de imágenes a través de plataformas digitales, optimizando la rapidez y precisión en los servicios de diagnóstico.

Inteligencia Artificial (IA) en Radiología

La inteligencia artificial ha emergido como una herramienta clave en la automatización de procesos médicos y en la detección temprana de enfermedades. Sus aplicaciones en la radiología incluyen la identificación de patrones patológicos con alta precisión, lo que minimiza errores humanos y mejora la toma de decisiones en el ámbito hospitalario. Parada et al. (2023) enfatizan que “la inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la interpretación de imágenes radiológicas al mejorar la precisión, la velocidad y la eficiencia del diagnóstico” (p. 7). Esto ha permitido avances en el desarrollo de software de análisis de imágenes médicas basado en redes neuronales, mejorando la detección de anomalías en tiempo real.

Protección Radiológica

La protección radiológica comprende un conjunto de medidas diseñadas para minimizar los efectos adversos de la radiación ionizante en pacientes y profesionales de la salud. En este sentido, las nuevas tecnologías han evolucionado con el propósito de reducir la exposición sin comprometer la calidad diagnóstica. Calva et al. (2023) señalan que se han incorporado sistemas de conteo de fotones y equipos portátiles avanzados para mejorar la seguridad en los procedimientos radiológicos. Además, organismos internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) han establecido normativas que regulan el uso seguro de la radiación en el ámbito médico.

Radiografía Computarizada

La radiografía computarizada representa un avance significativo en la digitalización de los procesos radiológicos. Esta tecnología emplea detectores digitales en lugar de películas radiográficas tradicionales, lo que permite una visualización más detallada de estructuras anatómicas y una reducción en los costos operativos en hospitales y clínicas. Su implementación ha facilitado el acceso a imágenes de alta resolución en menor tiempo, optimizando la toma de decisiones médicas y permitiendo la integración con sistemas de inteligencia artificial para una interpretación más precisa (Gómez et al., 2024).

Marco Metodológico

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y modalidad documental, con alcance exploratorio, ya que su finalidad es analizar, comprender e interpretar los desafíos que ha enfrentado el sistema de radiación en los hospitales de Colombia durante el periodo 2020 a 2024, sin realizar manipulación de variables ni intervención directa en escenarios clínicos.

Enfoque y Tipo de Investigación

La investigación es cualitativa, pues se centra en comprender fenómenos desde una perspectiva interpretativa, abordando la evolución del sistema de radiación y los avances tecnológicos durante y después de la pandemia de COVID-19. Se clasifica como descriptiva y exploratoria, ya que busca describir características relevantes del fenómeno y explorar relaciones y tendencias dentro del contexto colombiano.

El diseño es no experimental, debido a que se analizan hechos históricos, técnicos y sociales sin alterar las condiciones naturales en las que se produjeron. El método adoptado es analítico, dado que se descompone la información documental en categorías alineadas con los objetivos específicos para una mejor comprensión del problema.

Recolección de la Información y Criterios de Selección

Para la recopilación de información se llevó a cabo una revisión documental exhaustiva, consultando fuentes secundarias confiables como artículos científicos, tesis, informes institucionales, bases de datos académicas y documentos normativos. Las principales bases utilizadas fueron: Google Académico, Scielo, Redalyc, PubMed, Dialnet y el repositorio institucional de la UNAD. También se consideraron boletines del Ministerio de Salud, páginas web de hospitales y publicaciones oficiales de entidades como el INVIMA y el Ministerio TIC.

Se emplearon palabras clave como: radiología, radiación médica, COVID-19, avances tecnológicos, protección radiológica y equipos de diagnóstico por imagen en Colombia. El rango temporal considerado fue de 2017 a 2024, priorizando documentos recientes que abordaran el contexto pandémico y pospandémico. En cuanto a los criterios de inclusión, se seleccionaron publicaciones escritas en español o inglés, que estuvieran sometidas a revisión por pares o producidas por instituciones reconocidas, con un enfoque geográfico centrado en Colombia o América Latina, y cuya temática estuviera directamente relacionada con los objetivos planteados en el presente estudio.

Análisis y Procesamiento de la Información

Para organizar y sistematizar la información recolectada, se utilizó una matriz de análisis documental, en la cual se registraron: autor, año, tipo de documento, objetivo, metodología, hallazgos principales y relación con los objetivos de la investigación.

Por consiguiente, el análisis se realizó mediante una categorización temática según los tres objetivos específicos. A cada documento se le asignó una categoría según su pertinencia: antecedentes históricos, avances tecnológicos o desafíos. Posteriormente, se realizó una lectura crítica de los textos seleccionados, identificando similitudes, vacíos de conocimiento y perspectivas relevantes para la interpretación cualitativa del fenómeno estudiado.

Población y Muestra

Dado su carácter documental, esta investigación no se desarrolla en un sitio físico determinado. La población está constituida por el universo de documentos académicos y técnicos relacionados con el sistema de radiación en Colombia. La muestra fue de tipo intencional y comprendió 43 documentos seleccionados bajo los criterios antes mencionados.

Fases Metodológicas

Tabla 1

Fases Metodológicas

Fase	Relación con el objetivo específico	Descripción de la fase
Fase 1: Revisión histórica del sistema de radiación	Objetivo 1: Identificar la historia del sistema de radiación a nivel general.	Se consultaron fuentes teóricas y científicas sobre los orígenes de la radiología, tipos de radiación y evolución tecnológica desde el siglo XIX hasta la actualidad.
Fase 2: Análisis de avances tecnológicos en Colombia (2020-2024)	Objetivo 2: Determinar los avances tecnológicos respecto al sistema de radiación en hospitales colombianos.	Se identificaron y clasificaron documentos sobre la adopción de equipos de imagen, IA, tomografía, rayos X digitales, telemedicina, etc., durante y después de la pandemia.
Fase 3: Identificación de los desafíos y limitaciones en la implementación	Objetivo 3: Evidenciar los desafíos que ha presentado la implementación tecnológica.	Se analizaron estudios, comunicados oficiales y artículos que reportan problemas de acceso, desigualdad regional, capacitación del personal y limitaciones normativas.

Nota. Estructuración del proceso metodológico según los objetivos específicos del estudio.

Resultados

En el marco de esta investigación, se identificaron múltiples fuentes primarias que analizan el impacto de los avances tecnológicos en el sistema de radiación en Colombia, particularmente durante el período 2020-2024. Estas fuentes permitieron establecer conexiones entre los avances logrados, los desafíos persistentes y la desigual distribución de recursos en los distintos contextos hospitalarios del país. A través de la revisión documental, se sistematizaron estudios académicos, artículos técnicos y comunicados institucionales, cuya síntesis comparativa puede visualizarse en la siguiente tabla:

Tabla 2

Hallazgos

Autor, revista, año	País	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Principales hallazgos	Conclusiones
Guerrero et al., Dominio de las Ciencias, 2023	Ecuador	Revisión documental	Analizar aplicaciones emergentes de la tomografía computarizada moderna.	Identificaron mejoras como el TAC Revolution EVO, reducción de dosis de radiación, y uso de IA para diagnóstico más preciso.	Los avances tecnológicos optimizan la atención médica, pero requieren mayor formación del personal.
Parada et al., UNAL, 2023	Colombia	Revisión exploratoria	Evaluar el uso de inteligencia artificial en imágenes diagnósticas.	La IA mejora precisión y velocidad diagnóstica; reduce carga laboral del personal médico.	Se debe considerar la supervisión ética y técnica en el uso de IA en entornos clínicos.
Aguirre et al., Rev. Imagenología, 2021	España	Revisión documental	Examinar impacto del deep learning en la segmentación de imágenes médicas.	El aprendizaje profundo mejora la calidad de imágenes y permite automatización de informes.	La IA es prometedora, pero depende de infraestructura tecnológica y calidad de datos.

Autor, revista, año	País	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Principales hallazgos	Conclusiones
					Persisten desigualdades regionales que afectan equidad en el acceso a diagnóstico por imagen.
Forero, Revista Colombiana de Radiología, 2024	Colombia	Estudio descriptivo	Medir cobertura tecnológica en servicios de radiología durante y después del COVID-19.	Solo 33 % de cobertura está en ciudades intermedias; zonas rurales con acceso limitado a tecnología moderna.	
Gómez, Hospital de Villavicencio, 2025	Colombia	Reporte institucional	Reportar adquisición de equipos TAC y rayos X modernos en hospital regional.	Mejora en calidad de imagen, rapidez de diagnósticos y separación de flujos de atención.	La tecnología fortalece el servicio, pero requiere mantenimiento y capacitación constante.
Mosquera & Ethal, Estudio internacional OIEA, 2024	Multinacional (incl. Colombia)	Revisión técnica internacional	Optimizar la seguridad radiológica pediátrica mediante estándares comunes.	Promueven cultura de seguridad y uso de niveles de referencia para diagnóstico.	La cooperación internacional puede estandarizar la protección radiológica en la región.
Muriel & Ethal, OIEA, 2021	Colombia	Revisión institucional	Analizar sostenibilidad de la medicina nuclear en América Latina.	Riesgos por falta de regulación, baja inversión y debilidad institucional en centros oncológicos.	Es urgente una reforma técnica, normativa y económica para sostener la medicina nuclear en la región.

Nota. Hallazgos encontrados y conclusiones de las fuentes consultadas.

Uno de los principales puntos de convergencia entre los estudios revisados es el reconocimiento del impacto que tuvo la pandemia por COVID-19 en la aceleración de procesos de modernización tecnológica. Hospitales como el Internacional de Colombia (HIC) y el de

Kennedy en Bogotá adquirieron equipos de última generación, entre ellos el PET/CT y el TAC de alta resolución. Sin embargo, investigaciones como las de Forero (2024) y Martínez (s.f.) evidencian que esta modernización no fue homogénea, ya que persiste una marcada desigualdad en la disponibilidad de tecnología avanzada entre zonas urbanas y rurales, lo que afecta directamente la calidad y oportunidad del diagnóstico por imágenes.

Asimismo, se identificaron desafíos estructurales que trascienden la infraestructura tecnológica. Uno de los más críticos es la falta de personal cualificado para operar estos equipos, una situación ya denunciada desde 2018 por académicos de la Universidad Nacional, quienes advirtieron sobre la sobrecarga laboral y la escasa formación en nuevas herramientas digitales. Esta realidad se refleja también en los estudios de Aguirre et al. (2021) y Parada et al. (2023), los cuales destacan que la inteligencia artificial ha mejorado la segmentación de imágenes médicas, pero su implementación efectiva depende de la capacitación continua del talento humano.

En relación con la carga asistencial, el estudio de García et al. (2022) que estuvo basado en registros del Ministerio de Salud; confirma que durante los picos pandémicos se produjo una saturación del sistema radiológico, con un uso excesivo del TAC de tórax y otras modalidades de imagen, particularmente en contextos hospitalarios de alta demanda. Esta sobrecarga afectó tanto la eficiencia del sistema como la seguridad de los procedimientos, al limitar el tiempo de interpretación y aumentar el riesgo de errores diagnósticos.

A nivel político y administrativo, se halló que la centralización de los recursos económicos en instituciones privadas o de grandes ciudades ha contribuido al rezago en regiones periféricas, donde se suma una preocupante falta de electrificación básica. Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), más de 1700 localidades rurales en

Colombia solo cuentan con acceso parcial a la electricidad, lo que limita la instalación y operación de equipos avanzados.

Por todo lo anterior, a continuación, con el fin de sintetizar visualmente los hallazgos obtenidos en esta revisión documental, se presenta un mapa conceptual que expone de manera cronológica y categorizada los principales desafíos enfrentados por el sistema de radiación en Colombia entre los años 2020 y 2024.

Figura 1

Mapa Conceptual Desafíos que Enfrenta el Sistema de Radiación en Colombia



Nota. elaboración propia

Por otro lado, aunque persisten los retos, también se identificaron propuestas regionales e internacionales orientadas a enfrentar estas brechas. Tal es el caso del proyecto liderado por Mosquera y Ethal (2024), que plantea un plan de cooperación interinstitucional para optimizar los niveles de referencia en radiología pediátrica, estandarizar protocolos y promover la cultura de seguridad radiológica. Estas iniciativas reflejan un compromiso con la sostenibilidad tecnológica en salud, aunque su alcance aún depende del fortalecimiento institucional y de la voluntad política de implementar cambios estructurales.

En conclusión, los resultados obtenidos permiten observar un panorama mixto: por un lado, avances tecnológicos significativos en algunos hospitales de referencia; por otro, rezagos evidentes en infraestructura, formación y equidad territorial. Quedan pendientes retos sustanciales relacionados con el mantenimiento de los equipos, la vigilancia normativa, la sostenibilidad presupuestaria y la formación continua, aspectos que deberán ser abordados para garantizar un acceso justo y efectivo a tecnologías de radiación en todo el territorio colombiano.

Conclusiones

Las conclusiones de esta revisión documental permiten afirmar que, entre los años 2020 y 2024, Colombia experimentó una evolución significativa en el sistema de radiación médica, particularmente impulsada por la emergencia sanitaria causada por la pandemia de COVID-19. Este contexto generó una transformación urgente en el sector salud, favoreciendo la incorporación de tecnologías como la tomografía computarizada de última generación, los equipos portátiles de rayos X y la inteligencia artificial en el diagnóstico por imágenes. Sin embargo, estos avances no han logrado consolidarse de manera uniforme en todo el país, puesto que persisten barreras estructurales que afectan especialmente a las regiones más apartadas.

Uno de los hallazgos más reiterados a lo largo de las fuentes consultadas es la evidente centralización de recursos en instituciones privadas o en grandes centros urbanos, lo que refuerza una distribución desigual de tecnologías médicas avanzadas. Casos como los del Hospital Internacional de Colombia, el Hospital de Kennedy y el Hospital Departamental de Villavicencio destacan por sus incorporaciones tecnológicas, pero siguen siendo excepcionales en el contexto nacional. En contraste, muchas zonas rurales carecen incluso de servicios básicos de salud o de electricidad continua, lo que imposibilita la implementación efectiva de estas tecnologías.

Además, se identificó que la falta de personal cualificado y la insuficiente formación continua representan obstáculos significativos para el aprovechamiento pleno de las tecnologías disponibles. A esto se suma la necesidad de contar con protocolos estandarizados de protección radiológica y vigilancia técnica, elementos que no siempre están debidamente consolidados en los distintos niveles de atención. Estas falencias, si bien no son nuevas, se hicieron más visibles y críticas durante la crisis sanitaria, al poner en evidencia las carencias logísticas, humanas y técnicas de muchos centros hospitalarios del país.

Por otro lado, esta investigación representó una valiosa oportunidad formativa para reconocer que la comprensión del sistema de radiación no solo debe centrarse en lo técnico, sino también en sus implicaciones éticas, sociales y políticas. Desde la mirada académica, se destaca la importancia de formar profesionales en radiología con conciencia crítica, capaces de analizar su entorno y de contribuir activamente a la transformación del sistema de salud colombiano.

Finalmente, se concluye que para lograr una implementación tecnológica equitativa y sostenible es imprescindible fortalecer la inversión pública, garantizar la actualización permanente del talento humano y consolidar políticas de regulación, inspección y monitoreo más eficaces. Solo mediante estos esfuerzos será posible avanzar hacia un modelo de atención médica más justo, eficiente y adaptado a las necesidades reales de la población colombiana.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre, F., Carballo, L., González, X., y Gigirey, V. (2021). *Inteligencia artificial aplicada a la imagen médica: revisión de tema*. Revista de Imagenología, 24(2), 47-58.
- Asociación Colombiana de Radioterapia Oncológica (ACRO). (2021). *Incremento de centros de radioterapia en Colombia durante la pandemia*.
<https://www.acro.org.co/noticias/incremento-centros-radioterapia-pandemia>
- Calva Sánchez, R. J., Jiménez Buri, K. F., Herrera Sarango, S. C., y Núñez Cabrera, C. M. (2023). *Avances tecnológicos y científicos en radiología*. RECIAMUC, 7(2), 457-465.
- Castilla & León (2018) La radiación y tipos de radiación.
<https://www.saludcastillayleon.es/AulaPacientes/es/cuida-salud-16ad6f/pruebas-diagnosticas/pruebas-diagnostico-imagen/radiacion-tipos-radiacion>
- Centro de Control de Cáncer. (s.f.). *Equipos de radioterapia profesional*.
<https://centrodecontroldecancer.com/equipos-de-radioterapia-profesional/>
- Consejo de Seguridad Nuclear (s.f) Las radiaciones.
- Consultor Salud. (2023, septiembre 15). *Innovación en radioterapia: RadixactX9 llega a Colombia*. <https://consultorsalud.com/innovacion-radioterapia-radixactx9-colombia/>
- Datos macro (2024) Ninguna muerte por COVID-19 en Colombia según los últimos datos.
- El Hospital. (2023). *Cuatro tecnologías avanzadas para rayos X que son tendencia en 2023*. El Hospital. <https://www.elhospital.com/es/noticias/cuatro-tecnologias-avanzadas-para-rayos-x-que-son-tendencia-en-2023>
- El Tiempo. (2023, marzo 15). *Nuevas tecnologías en radioterapia mejoran tratamientos oncológicos en Colombia*. <https://www.eltiempo.com/salud/nuevas-tecnologias-radioterapia-tratamientos-oncologicos-colombia-2023-15-03>

- Forero, M. (2024) Acmmim hizo un llamado por insuficiencia de equipos de medicina nuclear en el país. El Diario de la Republica. https://www.larepublica.co/economia/alerta-por-insuficiencia-de-equipos-de-medicina-nuclear-3942012?utm_source=chatgpt.com
- Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV). (2016, agosto 3). *Gracias al HIC, Colombia tiene a su alcance uno de los equipos de radioterapia más modernos del continente.* <https://internacional.fcv.org/noticias/6-noticia-3>
- Fundación Valle del Lili. (s.f.). *Equipo Truebeam Novalis - Radioterapia.* <https://valledellili.org/multimedia/equipo-truebeam-novalis-radioterapia/>
- Galindo, (2024) ¿Qué es la radiación? IAEA. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>
- Gobernación del Valle del Cauca. (2021, abril 6). *El HUV cuenta con un moderno servicio de radioterapia y equipos de última tecnología para la atención de pacientes con cáncer.* <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/70259/el-huv-cuenta-con-un-moderno-servicio-de-radioterapia-y-equipos-de-ultima-tecnologia-para-la-atencion-de-pacientes-con-cancer/>
- Gómez, L., & Ramírez, J. (2020). *Uso de tecnologías en el lugar de atención para el manejo de la pandemia por COVID-19 en Colombia.* Revista Colombiana de Salud Pública, 12(3), 45-58. <https://ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428185/>
- Gómez, S. (2025) Nuevo tomógrafo y equipo de Rayos X entran en funcionamiento en el Hospital Departamental de Villavicencio. <https://www.hdv.gov.co/noticias/ver/107>
- Granados Gómez, C.E. 2021. Medicina nuclear en Colombia: efectos de la pandemia COVID 19, y la sobrerregulación. *Revista Colombiana de Cancerología.* 25, 1 (mar. 2021).

- Guerrero, A., Estrada, J., Cobo, A., y Vega, M. (2023). *Aplicaciones emergentes de la tomografía computarizada en la medicina moderna: avances tecnológicos y beneficios clínicos*. *Dominio de las Ciencias*, 9(3), 2285-2295.
- Herrera (2021) Sabías que el Hospital de Kennedy tiene el TAC más moderno de Latinoamérica. Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/salud/tac-del-hospital-occidente-de-kennedy-servicios-de-salud-en-bogota>
- HIC (s.f) PET/ CT - Discovery IQ 600 (GE). <https://hic.fcv.org/co/servicio-de-medicina-nuclear/nuestros-equipos>
- Hospital Libano. (s.f). <http://www.hospitallibano.gov.co/>
<https://datosmacro.expansion.com/otros/coronavirus/colombia>
<https://www.csn.es/lasradiaciones#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20es%20la%20emisi%C3%B3n,radiaci%C3%B3n%20infrarroja%20no%20podr%C3%ADamos%20calentarnos.>
- Infobae. (2021). *Especial: COVID-19, los grandes desarrollos tecnológicos que cambiaron el rumbo de la pandemia*. Infobae.
<https://www.infobae.com/america/tecno/2021/12/30/especial-covid.>
- Infobae. (2024, agosto 28). *Tecnología de avanzada en radioterapia impulsa el tratamiento contra el cáncer en Colombia*.
<https://www.infobae.com/colombia/2024/08/28/tecnologia-de-avanzada-en-radioterapia-impulsa-el-tratamiento-contra-el-cancer-en-colombia/>
- Instituto de Cancerología Las Américas Auna. (s.f.). *Servicios de radioterapia*.
<https://institutodecancerologia.lasamericas.com.co/servicios/radioterapia>
- Martin (s.f). *¿Como se describió la radiactividad*. UNIR.
<https://www.unir.net/revista/humanidades/descubrimiento-radiactividad/>

- Martínez (s.f). Impacto de la pandemia del COVID-19 en la carga de trabajo de la radiología en Colombia. SERAM. https://seram.es/espacio-editorial-virtual/impacto-de-la-pandemia-del-covid-19-en-la-carga-de-trabajo-de-la-radiologia-en-colombia/?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. (2022). *COVID-19: Entre la ciencia, tecnología, innovación y sociedad*. Minciencias. <https://minciencias.gov.co>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. (2024). Transformación digital para el sector salud, una apuesta del Ministerio TIC. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/395979:Transformacion-digital-para-el-sector-salud-una-apuesta-del-Ministerio-TIC>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). *Informe sobre la modernización de equipos de radioterapia en Colombia*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/radioterapia-modernizacion>
- Mizar, H. (2022) Pandemia aceleró el desarrollo de equipos médicos portátiles. <https://www.acis.org.co/portal/content/noticiasdeinteres/pandemia-aceler%C3%B3-el-desarrollo-de-equipos-m%C3%A9dicos-port%C3%A1tiles>
- Mosquera, W., Aristizábal, A., & Ubeda, C. (2024). Optimización de la protección en radiología intervencionista pediátrica en América Latina y el Caribe: participación y desafíos para Colombia. *Revista Colombiana de Cardiología*, 31(3), 181-182. Epub July 29, 2024. <https://doi.org/10.24875/rccar.24000011>
- Murcia, E., Lineros, J., Aguilera, J., Granados, C., Martínez, M., & Barbosa, N. (2021). Regulación de los servicios de medicina nuclear: percepción de la problemática y

- desafíos para el manejo del cáncer en Colombia. *Biomédica*, 41(4), 692-705. Epub December 15, 2021. <https://doi.org/10.7705/biomedica.6123>
- Ocampo, J. (s.f). Carecemos de un verdadero sistema y de una política nacional de ciencia, tecnología e innovación. Analisis. <https://www.portafolio.co/opinion/otros-columnistas-1/el-atraso-colombiano-en-ciencia-y-tecnologia-519977>
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2021). *El papel de la imagenología médica en la lucha contra la COVID-19*. OIEA. <https://www.iaea.org>
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2022). *Tratamiento oncológico para todos: Mejoras en radioterapia en Colombia*. <https://www.iaea.org/sites/default/files/22-00185sweb.pdf>
- Ospino, A. (2017). *Situación de la oncología radioterápica en Colombia*. Ponencia presentada en ALATRO 2017. <https://alatro2017.grupoaran.com/ponencias/5-noviembre/5-colombia-alatro-2017-situacion-colombia-dra-ospino.pdf>
- Parada, O., Quintero, J., Cetina, J., y Carvajal, E. (2023). *Radiología 2.0: El Futuro de la Inteligencia Artificial en la Identificación e Interpretación de Imágenes Diagnósticas*. Universidad Nacional de Colombia.
- Peller, O. (s.f). Enfermedades infecciosas, OIEA puede consultarse en línea en www.iaea.org/bulletin.
- Promedc. (2023) El futuro de la tecnología de las imágenes médicas en Colombia. <https://www.promedco.com/noticias/avances-tecnologicos-de-las-imagenes-diagnosticos>
- Quirónsalud. (2022). *Tipos de radioterapia y la última tecnología para curar el cáncer*. <https://www.quironsalud.com/blogs/es/cancer-ahora/tipos-radioterapia-ultima-tecnologia-curar-cancer>

- Radio Nacional (2020) Colombia recibirá nuevos implementos para aumentar capacidad de detección del Covid-19. <https://www.radionacional.co/actualidad/colombia-recibira-nuevos-implementos-para-aumentar-capacidad-de-deteccion-del-covid-19>
- Radiología. (2021). *Medidas adoptadas en servicios de radiología para garantizar un entorno seguro durante la pandemia. Radiología*, 63(2), 87-95.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7834116/>
- Revista Medicina. (2023). *Avances en radioterapia para el tratamiento multimodal del cáncer. Medicina*, 45(3), 122-135. <https://revistamedicina.net>
- Revista Revisiones en Cáncer. (2022). *Impacto de la pandemia en la atención oncológica y radiológica en América Latina. Revisiones en Cáncer*, 12(4), 67-80.
<https://www.revistarevisionesencancer.com>
- Servicio Geológico Colombiano. (2021). *Percepciones del impacto de la pandemia de COVID-19 en las instalaciones radiactivas de Colombia. Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, 5(2), 23-30.
- Subredsubocci. (2021). Buenas noticias Bogotá, Post.
https://x.com/SubRedSurOcci/status/1375780934843256835?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1375780934843256835%7Ctwgr%5Eb9f2ee98ad9fa22d328f5358fdec5370c9cb6d22%7Ctwcon%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Fbogota.gov.co%2Fmi-ciudad%2Fsalud%2Ftac-del-hospital-occidente-de-kennedy-servicios-de-salud-en-bogota
- Valero, D. (2022). Sistema IoT para la Medición de Intensidad de Radiación UV y notificación de Alertas. Universidad del Quindío. <https://hdl.handle.net/20.500.14550/6739>

Vázquez, G. (2020). *Radioterapia en pacientes con COVID-19*. Revista de Revisiones en Cáncer, 34(3), 157-166.

<https://www.revistarevisionesencancer.com/filesPortalWeb/65/MA-H0061-01.pdf>