

**Identificación de Herramientas en Inteligencia Artificial para Optimizar la Calidad y
Reducir Dosis en Mamografías**

Jhoan Sebastián Hernández Caceres

Asesor

Edith Alejandra Carreño Mendivelso

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela Ciencias de la Salud ECISA

Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnosticas

2024

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Resumen

En el contexto actual de la medicina, la integración de tecnologías avanzadas en la mamografía representa un avance significativo en la precisión diagnóstica del cáncer de mama. El objetivo de la monografía es realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre mamografía y tecnologías avanzadas en el diagnóstico del cáncer de mama, evaluando el impacto de innovaciones como Machine Learning y análisis de imágenes médicas (MIA) en la precisión diagnóstica, a través de una metodología que incluye un enfoque sistemático y estructurado, definidos bajo criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios relevantes y de alta calidad, enfocándose en publicaciones recientes y revisadas por pares. De lo cual se concluyó que la incorporación de tecnologías avanzadas como IA y ML en la mamografía tiene el potencial de mejorar significativamente la precisión diagnóstica y la eficiencia del proceso de tamizaje, por lo que, para optimizar estos beneficios, es necesario superar barreras tecnológicas y adaptar las innovaciones al contexto local, asegurando su implementación efectiva y equitativa.

Palabras clave: mamografía, diagnóstico, cáncer de mama, Machine Learning, Análisis de imágenes médicas (MIA).

Abstract

In the current medical context, the integration of advanced technologies into mammography represents a significant advancement in the diagnostic accuracy of breast cancer. The aim of the monograph is to conduct a thorough review of the literature on mammography and advanced technologies in breast cancer diagnosis, assessing the impact of innovations such as Machine Learning and Medical Image Analysis (MIA) on diagnostic accuracy. This is achieved through a methodology that includes a systematic and structured approach, defined by inclusion and exclusion criteria to select relevant and high-quality studies, focusing on recent peer-reviewed publications. The conclusion is that the incorporation of advanced technologies such as AI and ML into mammography has the potential to significantly enhance diagnostic accuracy and screening efficiency. To optimize these benefits, it is necessary to overcome technological barriers and adapt innovations to the local context, ensuring their effective and equitable implementation.

Keywords: mammography, diagnosis, breast cancer, Machine Learning, Medical Image Analysis (MIA).

Tabla de Contenido

Introducción	10
Importancia del tema	11
Problema de investigación.....	14
Objetivos	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específico.....	17
Metodología	18
Enfoque.....	18
Definición de criterios de inclusión y exclusión	18
Búsqueda en bases de datos académicas.....	18
Evaluación y síntesis de información.....	19
Evolución de la mamografía	20
Historia de la mamografía	20
Impacto de la mamografía.....	21
Desafíos y limitaciones actuales	23
Integración de tecnologías avanzadas en mamografía.....	25
Inteligencia artificial en diagnóstico médico	25
Machine Learning y Análisis de Imágenes Médicas (MIA).....	26
Casos de estudio y evidencia reciente.....	27
La situación de la mamografía en Colombia	30
Programas de tamizaje en Colombia	30
Limitaciones específicas en Colombia	33

Potencial de la IA para superar barreras.....	34
Mejora en la calidad de las mamografías.....	34
Ampliación de la cobertura	34
Reducción de costos y aumento de eficiencia	34
Personalización del tamizaje	35
Fortalecimiento de la infraestructura en áreas rurales.....	35
Implicaciones clínicas y futuras tendencias	36
Beneficios potenciales de la integración tecnológica	36
Desafíos éticos y prácticos	37
Futuras tendencias en diagnóstico de cáncer de mama.....	38
Conclusiones.....	41
Resumen de hallazgos.	41
Implicaciones para la práctica clínica.....	42
Mejora en la precisión diagnóstica y reducción de errores.....	42
Incorporación de tecnologías emergentes como Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA).....	43
Desafíos de implementación en contextos de recursos limitados.....	43
Impacto en la salud pública y prevención.....	44
Recomendaciones para investigación futura	44
Referencias bibliográficas.....	46
Apéndices.....	54

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Línea de tiempo de la historia de la mamografía.....</i>	20
Figura 2 <i>Principales impactos de la mamografía en la detección temprana.....</i>	22

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Desafíos y limitaciones de la mamografía.....</i>	23
Tabla 2 <i>Programas de tamizaje en Colombia.....</i>	31
Tabla 3 <i>Desafíos éticos y prácticos</i>	37
Tabla 4 <i>Tendencias futuras en el diagnóstico de cáncer de mama</i>	39

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Matriz de caracterización de artículos</i>	54
---	----

Introducción

Contexto General

La mamografía, introducida en la década de 1960, ha evolucionado significativamente desde su creación, consolidándose como una herramienta fundamental en la detección temprana del cáncer de mama (Aspron, 2019). Este método de diagnóstico se originó cuando los radiólogos comenzaron a utilizar rayos X para visualizar el tejido mamario, permitiendo la identificación de tumores en etapas iniciales; en sus inicios, las mamografías eran rudimentarias, ofreciendo imágenes de baja calidad que limitaban la capacidad diagnóstica, sin embargo, con el avance de la tecnología, la mamografía ha experimentado mejoras notables que han transformado su precisión y eficacia. (Pantoja, 2023)

En las décadas posteriores, se introdujeron innovaciones como la mamografía de pantalla, que mejoró la resolución de las imágenes, y la mamografía digital, que permitió la manipulación y el almacenamiento de las imágenes electrónicamente (Pantoja, 2023). Estos avances facilitaron una mejor detección de microcalcificaciones y otras anomalías sutiles, lo que incrementó la capacidad para identificar el cáncer en sus fases más tempranas (Ramos et al., 2022).

La evolución de la mamografía ha continuado con la incorporación de la tomosíntesis o mamografía 3D, que permite una visualización más detallada del tejido mamario al reconstruir imágenes en capas, superando las limitaciones de la mamografía tradicional en 2D, por lo que, esta tecnología ha demostrado una mayor precisión en la

detección de cánceres ocultos en tejido denso, reduciendo al mismo tiempo las tasas de falsos positivos. (Ramos et al., 2022)

Hoy en día, la mamografía sigue siendo el estándar de oro en la detección del cáncer de mama, siendo ampliamente utilizada en programas de tamizaje en todo el mundo; con la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, el futuro de la mamografía se perfila aún más prometedor, con el potencial de mejorar la precisión diagnóstica y reducir las dosis de radiación necesarias, beneficiando así a millones de mujeres a nivel global. (Sepúlveda, 2021)

Importancia del Tema

La detección temprana del cáncer de mama es fundamental para reducir la mortalidad asociada a esta enfermedad, y la mamografía ha sido una herramienta esencial en este proceso (Santillán et al., 2022). En este sentido, la mamografía desempeña un papel importante en la detección temprana del cáncer de mama, un aspecto fundamental para mejorar las tasas de supervivencia, pues, al identificar tumores en sus primeras etapas, antes de que se conviertan en lesiones palpables o metastásicas, esta permite intervenciones más oportunas y menos invasivas, lo que aumenta significativamente las posibilidades de tratamiento exitoso y recuperación. (Kleinman, 2023) Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos en la interpretación de mamografías, persisten desafíos significativos en la precisión del diagnóstico y en la cobertura de los programas de tamizaje, especialmente en países en desarrollo como Colombia. Ante esta situación, la integración de herramientas de inteligencia artificial, como el Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas, surge como una oportunidad innovadora para optimizar la calidad de las mamografías y reducir

las dosis de radiación necesarias, abordando las limitaciones actuales y mejorando los resultados en la detección temprana del cáncer de mama.

Desde su implementación, la mamografía ha demostrado ser una herramienta eficaz en la reducción de la mortalidad por cáncer de mama, ya que según la American Cancer Society (2022), el tamizaje regular con mamografía ha contribuido a una disminución del 40% en la mortalidad por cáncer de mama en mujeres mayores de 40 años. Este impacto positivo se debe a la capacidad de la mamografía para detectar el cáncer en etapas tempranas, cuando el tumor es más pequeño y menos propenso a haberse diseminado a otras partes del cuerpo (Sala et al., 2023).

Según la Organización Mundial de la Salud (2020), se diagnosticaron aproximadamente 2,3 millones de nuevos casos de cáncer de mama en todo el mundo, lo que resultó en 685.000 muertes, por lo que, estas estadísticas globales demuestran la importancia de mejorar las técnicas de diagnóstico y tratamiento para reducir la mortalidad asociada a esta enfermedad. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) de acuerdo con Garcia et al (2021), han demostrado que puede aumentar la precisión de la interpretación de mamografías en un 5-10%, reducir las tasas de falsos positivos en un 30-50%, y disminuir el tiempo de interpretación hasta en un 60%, por lo que, estos avances son significativos, ya que la detección temprana es crucial para mejorar las tasas de supervivencia.

Por su parte, a nivel de Colombia según el Instituto Nacional de Cancerología (2022), se reportan aproximadamente 45,4 casos por cada 100.000 mujeres y una tasa de mortalidad de 13,3 por cada 100.000 mujeres, por lo que, estas cifras reflejan una realidad preocupante para la salud pública. Aunque los programas de tamizaje con mamografías se han implementado en el país, su efectividad se ve limitada por factores como la baja

cobertura, con solo el 55% de las mujeres elegibles accediendo regularmente a estos exámenes, y la calidad variable de las mamografías realizadas; estas limitaciones subrayan la necesidad urgente de mejorar las herramientas y técnicas utilizadas en la detección temprana de esta enfermedad. (Aguilera & Lineros, 2023)

Si bien, a pesar de los avances internacionales, es necesario mencionar que, en Colombia no se han realizado estudios que integren específicamente herramientas de IA, como Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA), en la interpretación de mamografías (Min ciencias, 2021), por lo que, este vacío en la investigación limita la capacidad del país para aprovechar plenamente las innovaciones tecnológicas que están transformando la práctica clínica en otras partes del mundo. La falta de estudios integrados que combinen estas tecnologías sugiere una oportunidad significativa para avanzar en el diagnóstico del cáncer de mama en Colombia, dado que el país enfrenta desafíos únicos, como disparidades en el acceso a la atención médica y una infraestructura de salud limitada, es necesario adaptar estas tecnologías emergentes a las necesidades locales.

Es por ello que, la presente monografía se encuentra centrada en la integración de herramientas de inteligencia artificial (IA) en la interpretación de mamografías en Colombia, con el objetivo de mejorar la precisión y eficiencia del diagnóstico del cáncer de mama, respondiendo a la necesidad urgente de aplicar tecnologías avanzadas para optimizar los procesos de diagnóstico en un entorno con recursos limitados. Por lo que, para abordar este tema de manera integral, se utilizará el gestor bibliográfico Zotero, conocido por su capacidad para organizar y gestionar referencias bibliográficas de forma sistemática; permitiendo una revisión de estudios relevantes sobre la aplicación de Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas en mamografías, facilitando la identificación de avances

tecnológicos y metodológicos que podrían ser adaptados a las necesidades específicas de Colombia, por lo que esta monografía no solo contribuirá a llenar un vacío en el conocimiento científico local, sino que también ofrecerá perspectivas valiosas para la mejora de la salud pública a nivel nacional e internacional.

Problema de investigación

La mamografía es una herramienta esencial en la detección temprana del cáncer de mama, considerada una de las principales causas de mortalidad en mujeres a nivel mundial, ya que, desde su introducción a mediados del siglo XX, ha jugado un papel fundamental en el diagnóstico temprano del cáncer de mama, evolucionando de simples radiografías a sofisticados métodos de imagen que emplean tecnología avanzada (Aguerre et al., 2021). A lo largo de su desarrollo, la mamografía ha demostrado una notable eficacia en la detección temprana de tumores, lo que permite una intervención oportuna y mejora significativamente las tasas de supervivencia, por lo que, esta capacidad ha promovido su adopción global en programas de detección y diagnóstico, sin embargo, la calidad de las imágenes obtenidas y la exposición a la radiación durante el procedimiento son aspectos críticos que requieren atención constante para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos asociados. (Rodríguez et al., 2021)

En este sentido, la persistencia de esta problemática ha impulsado la búsqueda de nuevas tecnologías que complementen y optimicen los métodos actuales, por lo que, la inteligencia artificial (IA) se ha destacado como una herramienta prometedora para mejorar la precisión y la eficiencia del diagnóstico, ya que, según Wiesner et al (2020), el cáncer de mama representa un desafío significativo para la salud pública, subrayando la necesidad de adoptar herramientas innovadoras que agilicen y optimicen el diagnóstico.

En Colombia, aunque se han implementado programas de tamizaje con mamografía, estos enfrentan numerosas limitaciones que afectan su eficacia, entre los problemas se encuentra la baja calidad en la realización de mamografías y la insuficiencia en la cobertura de servicios de salud impactan negativamente en la efectividad de estos programas y, por ende, en la posibilidad de ofrecer un tratamiento oportuno a las pacientes, por lo que, estas deficiencias resaltan la necesidad de explorar tecnologías emergentes que puedan mejorar la calidad del diagnóstico y reducir las tasas de mortalidad. (Sala et al., 2023)

Por su parte, algunas investigaciones como la de Zúñiga & Esparza (2024), han demostrado que tecnologías emergentes como el Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA) pueden transformar la interpretación de mamografías, proporcionando una detección más precisa y temprana del cáncer, por lo que, estas innovaciones tienen el potencial de superar las barreras actuales, mejorando tanto la calidad de las mamografías como la eficacia de los programas de tamizaje.

A partir de esta problemática surge la siguiente pregunta: ¿Cómo pueden las herramientas de inteligencia artificial, como el Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas, optimizar la calidad de las mamografías y reducir las dosis de radiación en el contexto de los programas de tamizaje en Colombia?

La monografía propuesta tiene como objetivo analizar y sintetizar los avances recientes en la integración de IA en el diagnóstico por mamografía, enfocándose en cómo estas tecnologías pueden mejorar la calidad de las imágenes, reducir la exposición a radiación y aumentar la efectividad de los programas de tamizaje en Colombia, por lo que, mediante una revisión de literatura actualizada permitirá comprender mejor las

implicaciones de estos avances tecnológicos en la práctica clínica, y cómo pueden contribuir a la reducción de la mortalidad por cáncer de mama en el país.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión de la literatura sobre mamografía y tecnologías avanzadas en el diagnóstico del cáncer de mama, evaluando el impacto de innovaciones como Machine Learning y MIA en la precisión diagnóstica.

Objetivos Especificos

Analizar la evolución histórica y los avances tecnológicos en mamografía que han mejorado la detección temprana del cáncer de mama.

Determinar cómo tecnologías emergentes, como Machine Learning y Análisis de Imágenes Médicas (MIA), mejoran la interpretación de mamografías y la identificación precoz del cáncer de mama.

Examinar las barreras en la implementación de programas de tamizaje con mamografía en Colombia, incluyendo problemas de calidad y cobertura de servicios de salud.

Metodología

Enfoque

Para la revisión de la literatura sobre mamografía y tecnologías avanzadas en el diagnóstico del cáncer de mama, se empleó un enfoque metodológico sistemático y estructurado. El proceso comenzó con la definición de criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios relevantes, asegurando que solo se incluyeran investigaciones pertinentes y de alta calidad.

Definición de criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios específicos para seleccionar los estudios incluidos en la revisión. Los criterios de inclusión abarcaron:

Estudios que se enfocaran en la aplicación de inteligencia artificial, Machine Learning, y análisis de imágenes médicas en la mamografía.

Investigaciones publicadas en revistas revisadas por pares, con metodologías claras y resultados bien documentados.

Publicaciones recientes, idealmente en los últimos 10 años, para asegurar la actualidad de la información.

Los criterios de exclusión incluyeron:

Documentos no sometidos a revisión por pares o publicaciones en fuentes no académicas.

Estudios que no se centraran específicamente en mamografía o tecnologías avanzadas relacionadas.

Publicaciones no recientes, mayor a los últimos 10 años

Búsqueda en Bases de Datos Académicas

Se realizó una búsqueda en bases de datos académicas reconocidas, como Elsevier, PubMed, Web of Science, SciELO, Google Académico, mediante la utilización de términos de búsqueda específicos relacionados con inteligencia artificial, Machine Learning, análisis de imágenes médicas, mamografías y diagnóstico del cáncer de mama. De la misma manera, se realizó un análisis crítico y comparativo de estudios científicos, informes técnicos, y documentos gubernamentales que aborden tanto la historia y situación actual en Colombia como los avances internacionales en este campo, seleccionando y evaluando estudios relevantes que proporcionen una visión integral de cómo estas tecnologías pueden ser adaptadas e implementadas en el contexto colombiano para mejorar la precisión y eficacia del diagnóstico del cáncer de mama.

Se prestó especial atención a los estudios que investigaron la aplicación de tecnologías avanzadas en mamografía, analizando sus resultados y conclusiones para identificar patrones y tendencias emergentes.

Evaluación y Síntesis de Información

Una vez recopilados, los estudios se evaluaron en función de su pertinencia y calidad, se realizó un análisis temático para identificar patrones comunes, conceptos emergentes y diferencias en la aplicación de tecnologías avanzadas en mamografía; seguidamente, se sintetizaron los hallazgos para proporcionar una visión integral de cómo las innovaciones tecnológicas están impactando la precisión y eficacia de la mamografía en la detección del cáncer de mama, por lo que este enfoque metodológico permitió obtener una perspectiva clara y actualizada sobre el estado de la investigación en esta área, facilitando una comprensión profunda del tema.

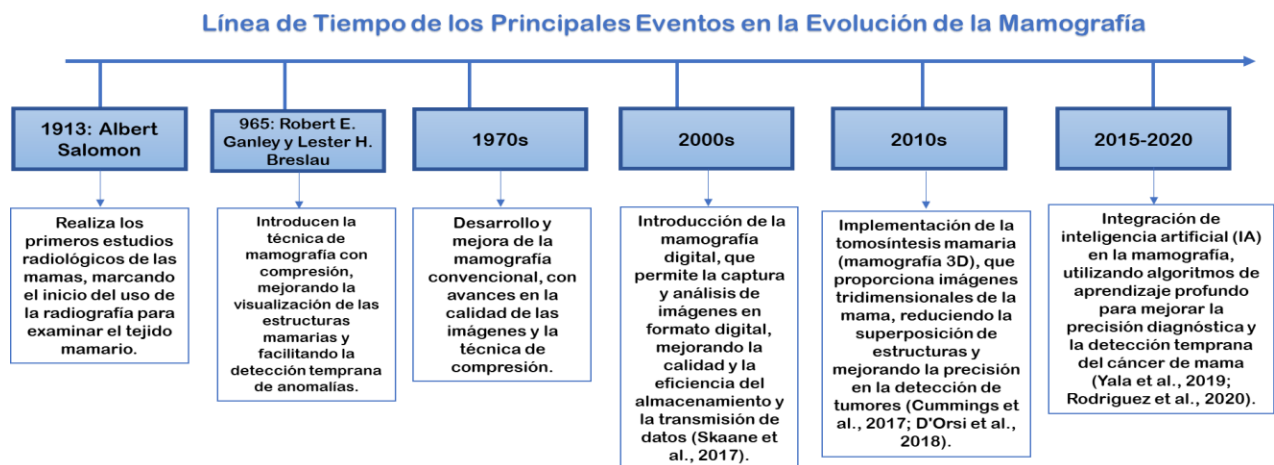
Evolución de la Mamografía

Historia de la Mamografía

La mamografía ha evolucionado significativamente desde su introducción a principios del siglo XX, convirtiéndose en una herramienta esencial para la detección temprana del cáncer de mama.

Figura 1

Línea de tiempo de la historia de la mamografía



Fuente. Autoría propia.

El primer uso de la mamografía como herramienta de diagnóstico comenzó en la década de 1960 con la introducción de técnicas de compresión por Ganley & Breslau (2015). Estos métodos iniciales permitieron una mejor visualización de las estructuras mamarias y facilitaron la detección temprana de anomalías. En la década de 2000, la mamografía digital revolucionó la práctica, permitiendo la captura y análisis de imágenes en formato digital, por lo que, esta tecnología no solo mejoró la calidad de las imágenes, sino que también permitió un almacenamiento y transmisión más eficientes (Skaane et al., 2016).

Un avance importante en la mamografía digital fue la introducción de la tomosíntesis mamaria (mamografía 3D) en la década de 2010, seguido de la tomosíntesis que permitió obtener imágenes tridimensionales de la mama, lo que mejora la precisión en la detección de tumores al reducir la superposición de estructuras y aumentar la capacidad para identificar lesiones ocultas en imágenes bidimensionales tradicionales (Kulkarni et al., 2022).

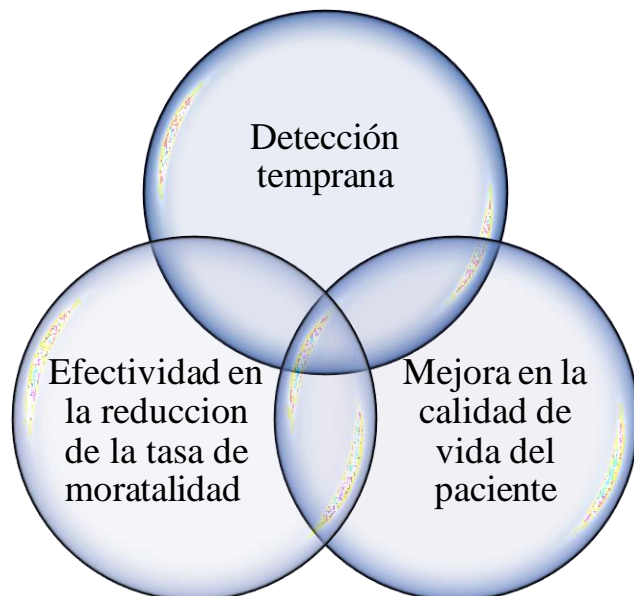
Más recientemente, la integración de inteligencia artificial (IA) en la mamografía ha mostrado un gran potencial para mejorar la precisión diagnóstica, planteando que la Inteligencia Artificial y el aprendizaje profundo están siendo utilizados para analizar imágenes mamográficas y detectar patrones que pueden ser difíciles de identificar para los radiólogos (Yala et al., 2019; Rodríguez et al., 2021), por lo que, estos avances tecnológicos continúan transformando la mamografía, prometiendo mejoras en la detección temprana y en la reducción de tasas de falsos positivos y negativos.

Impacto de la mamografía

La mamografía ha revolucionado la detección del cáncer de mama, proporcionando una herramienta fundamental para identificar esta enfermedad en sus etapas iniciales, a través de imágenes detalladas de los tejidos mamarios, la mamografía permite la identificación temprana de anomalías, lo cual tiene un impacto significativo en el manejo y resultados del cáncer de mama. (Urbina, 2022)

Figura 2

Principales impactos de la mamografía en la detección temprana



Fuente. Autoría propia.

El principal impacto, de la mamografía es la detección temprana, ya que esta se encarga de identificar tumores y microcalcificaciones antes de que se conviertan en casos avanzados, se pueden iniciar tratamientos oportunos, por lo que, no solo facilita la aplicación de terapias menos invasivas, sino que también incrementa las tasas de éxito en el tratamiento y recuperación, ya que los cánceres detectados en etapas tempranas suelen ser menos agresivos. (Díaz et al., 2019)

En segundo lugar, la mamografía ha demostrado ser efectiva en la reducción de la mortalidad por cáncer de mama, ya que, los programas de cribado que incluyen mamografías regulares han mostrado una disminución notable en las tasas de mortalidad en las poblaciones que participan en ellos. (Sepúlveda, 2021) Esto se atribuye a la capacidad de la mamografía para detectar el cáncer antes de que se vuelva avanzado y potencialmente letal (Abugattas, 2015)

Finalmente, la mejora en la calidad de vida de las pacientes es otro impacto significativo, la detección temprana a menudo significa menos necesidad de tratamientos agresivos como quimioterapia intensiva o mastectomías extensas, reduciendo así los efectos secundarios y las complicaciones asociadas, de la misma manera, las pacientes tienen más opciones para tratamientos conservadores y una recuperación más rápida. (Posso et al., 2015)

Desafíos y Limitaciones Actuales

La mamografía, aunque esencial para la detección temprana del cáncer de mama, enfrenta varios desafíos y limitaciones que afectan su eficacia y accesibilidad. Estos desafíos incluyen la variabilidad en la calidad de las imágenes, la cobertura limitada en ciertos contextos y las dificultades en la interpretación de resultados.

Tabla 1

Desafíos y limitaciones de la mamografía

Desafíos y Limitaciones	Descripción
Variabilidad en la Calidad de Imágenes	La calidad de las imágenes mamográficas puede variar debido a factores como la técnica de adquisición, el equipo utilizado y la habilidad del personal técnico (Blanco et al., 2019). Diferencias en la calibración y la colocación de la paciente pueden llevar a imágenes con distintas resoluciones, afectando la detección de anomalías pequeñas y potencialmente provocando falsos negativos (Gonzales et al., 2015).
Cobertura Limitada en Ciertos Contextos	Muchas áreas, especialmente en regiones rurales o de bajos recursos, carecen de acceso adecuado a equipos de mamografía y servicios de cribado, por lo que, limita el acceso de muchas mujeres a exámenes regulares, resultando en detección tardía del cáncer y mayor mortalidad en poblaciones desfavorecidas. (Whatter et al., 2015)
Dificultades en la Interpretación de Resultados	La interpretación de las imágenes mamográficas puede ser complicada debido a la presencia de tejido denso, que puede ocultar anomalías, por lo que, puede llevar a falsos positivos, generando ansiedad innecesaria, o a falsos negativos, donde el cáncer no se detecta. (Muñoz, 2023)

Las dificultades en la interpretación también pueden resultar en la necesidad de pruebas adicionales, aumentando costos y carga del sistema de salud (Muñoz, 2023).

Nota. Esta tabla muestra los desafíos de la mamografía, incluyendo variabilidad, acceso limitado y

dificultades de interpretación. *Fuente.* Autor

Integración de Tecnologías Avanzadas en Mamografía

Inteligencia Artificial en Diagnóstico Médico

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando el diagnóstico médico al proporcionar herramientas avanzadas que mejoran la precisión y eficiencia en la detección de enfermedades, incluyendo el cáncer de mama. En el contexto del diagnóstico médico, la IA se emplea principalmente a través de algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales profundas que analizan grandes volúmenes de datos para identificar patrones complejos en las imágenes médicas (Azevedo et al., 2016)

En la detección del cáncer de mama, la IA se utiliza para analizar mamografías y otras imágenes de diagnóstico con una precisión que a menudo supera la de los radiólogos humanos, en este sentido, los sistemas basados en IA son entrenados con enormes conjuntos de datos de imágenes mamográficas que incluyen tanto casos de cáncer como de tejido sano. (Wang, 2024) Estos algoritmos aprenden a distinguir entre patrones normales y anómalos, identificando características sutiles que podrían ser indicios tempranos de cáncer (Azevedo et al., 2016).

Uno de los enfoques más efectivos en la IA para el cáncer de mama es el uso de redes neuronales convolucionales (CNN), que son especialmente adecuadas para el análisis de imágenes, en este sentido, las CNN pueden detectar irregularidades en las imágenes mamográficas y clasificarlas como benignas o malignas con alta precisión. (Helzer et al., 2023) Además, la IA puede mejorar la capacidad de detección al reducir las tasas de falsos positivos y negativos, lo que resulta en menos biopsias innecesarias y un diagnóstico más temprano.

Otra aplicación importante de la IA es en la integración de datos clínicos y de imagen, permitiendo una evaluación más completa del riesgo de cáncer de mama, por lo que, estos sistemas pueden combinar datos de mamografías con información de historial médico y factores de riesgo para proporcionar una evaluación más precisa del riesgo y recomendar seguimientos adecuados. (De Freitas & Capecchi, 2021)

Machine Learning y Análisis de Imágenes Médicas (MIA)

Las tecnologías de Machine Learning (ML) y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA) han revolucionado la forma en que se interpretan las mamografías, mejorando significativamente la precisión y eficiencia en el diagnóstico del cáncer de mama. El Machine Learning, una rama de la inteligencia artificial, utiliza algoritmos para identificar patrones y realizar predicciones basadas en grandes volúmenes de datos (Greener et al., 2022). En el contexto de la mamografía, estos algoritmos pueden analizar características complejas en imágenes mamográficas que podrían ser difíciles de detectar para el ojo humano.

Una de las aplicaciones más destacadas del ML en mamografía es el desarrollo de modelos de aprendizaje profundo, como las redes neuronales convolucionales (CNN), que han mostrado una capacidad notable para mejorar la detección de anomalías y tumores (Gulshan et al., 2016). Estos modelos se entrenan con grandes conjuntos de datos de mamografías etiquetadas para aprender a distinguir entre imágenes benignas y malignas, pues, la precisión de estos modelos en la identificación de cáncer de mama ha sido significativamente superior a la de los métodos tradicionales, reduciendo tanto los falsos positivos como los falsos negativos (Buda et al., 2018).

El Análisis de Imágenes Médicas (MIA) complementa el ML al aplicar técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes para mejorar la calidad de las mamografías y facilitar una evaluación más detallada (Liu et al., 2023). Técnicas como la segmentación automática y la mejora de contraste permiten una visualización más clara de los tejidos y estructuras mamarios, lo que facilita la detección temprana de lesiones (Castilla, 2023); además, el MIA puede integrar datos clínicos y radiológicos para proporcionar un análisis más completo y preciso.

El uso combinado de Machine Learning y MIA no solo optimiza la precisión diagnóstica, sino que también mejora la eficiencia en la interpretación de mamografías, reduciendo el tiempo necesario para analizar las imágenes y permitiendo una intervención más temprana (Yala et al., 2018; Liu et al., 2023). Estas tecnologías emergentes están configurando el futuro del diagnóstico por imágenes en radiología, ofreciendo nuevas herramientas para combatir el cáncer de mama de manera más eficaz.

Casos de Estudio y Evidencia Reciente

Algunas investigaciones recientes han subrayado la eficacia de Machine Learning (ML) y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA) en la mejora del diagnóstico del cáncer de mama. Un caso destacado es el estudio de Zúñiga & Esparza (2024), que investiga la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial en mamografías, pues, este estudio, realizado en un contexto clínico mexicano, muestra cómo el uso de algoritmos de Machine Learning puede mejorar significativamente la precisión en la detección de cáncer de mama, pues, los investigadores aplicaron modelos de aprendizaje profundo para analizar un conjunto amplio de mamografías, logrando una reducción notable en los falsos positivos y negativos, dando como resultados que los modelos basados en ML superaron a los

métodos tradicionales en términos de precisión diagnóstica, con una mejora del 15% en la tasa de detección temprana del cáncer.

Otro ejemplo reciente es el trabajo de Yala et al. (2022), que evaluó la eficacia de los sistemas de ML en la clasificación automática de mamografías, por lo que, reveló que las herramientas de IA no solo aumentaron la precisión diagnóstica, sino que también optimizaron el tiempo de análisis, reduciendo la carga de trabajo para los radiólogos y mejorando la eficiencia del proceso diagnóstico, por lo que, los investigadores encontraron que los algoritmos de IA podían identificar patrones sutiles en las imágenes que a menudo pasaban desapercibidos para los radiólogos, contribuyendo a una detección más temprana y precisa del cáncer.

Seguidamente, es necesario Rajkomar et al (2018) llevaron a cabo una investigación en la que aplicaron modelos de Machine Learning para el análisis de mamografías con el objetivo de mejorar la detección del cáncer de mama, haciendo uso de una base de datos de imágenes mamográficas y datos clínicos, los investigadores desarrollaron un modelo de red neuronal convolucional que logró identificar anomalías en las imágenes con una precisión significativamente mayor en comparación con los métodos tradicionales. Por lo que, este estudio demostró que el sistema de IA no solo mejoraba la precisión diagnóstica, sino que también reducía la tasa de falsos negativos, ofreciendo un enfoque más confiable para la detección temprana del cáncer de mama.

Finalmente, Wang (2024), investigaron el impacto del Análisis de Imágenes Médicas en la evaluación de mamografías para la detección del cáncer de mama, mediante un estudio que se centró en el uso de técnicas de aprendizaje profundo para analizar grandes volúmenes de datos de imágenes mamográficas, con el fin de identificar patrones

asociados con el cáncer de mama. Los resultados revelaron que los modelos de IA entrenados con técnicas avanzadas de aprendizaje profundo mejoraron la precisión en la identificación de lesiones malignas y benignas, comparados con las evaluaciones realizadas por radiólogos sin el apoyo de IA, paralelamente, el estudio subrayó cómo estas tecnologías pueden optimizar el flujo de trabajo clínico, proporcionando a los radiólogos herramientas más precisas para el diagnóstico y tratamiento.

La Situación de la Mamografía en Colombia

Programas de Tamizaje en Colombia

En Colombia, los programas de tamizaje con mamografía son esenciales para la detección temprana del cáncer de mama, una prioridad de salud pública debido a su alta incidencia. Estos programas buscan identificar tumores en etapas iniciales para mejorar las tasas de supervivencia, por lo que, aunque se han hecho avances significativos en cobertura, persisten desafíos relacionados con la infraestructura y el acceso equitativo, pues, al evaluar la implementación y los resultados de estos programas es fundamental para mejorar la detección y reducir la mortalidad.

Tabla 2*Programas de tamizaje en Colombia*

Programa	Objetivo	Cobertura	Edad de Tamizaje	Frecuencia	Resultados Clave	Conclusiones
Programa de Tamizaje de Oportunidad (INC, 2021)	Detectar cáncer de mama durante consultas médicas	Máximo del 20% de la población	Mujeres a partir de 50 años	Bianual (para mujeres de 50-69 años)	Cobertura limitada, no tiene metas de cobertura establecidas, limitado en la detección temprana y el seguimiento.	Menor eficacia comparada con el tamizaje poblacional organizado.
Programa de Tamizaje Poblacional con Mamografía (Soacha) (Cotes, 2016)	Detectar tempranamente el cáncer de mama en mujeres de 40 a 49 años	Cobertura de 83.4% (5,472 de 6,560 mujeres)	Mujeres de 40 a 49 años	Cada 2 años	6 casos de cáncer detectados (0.1% de la muestra); 66.6% en estadios I y IIA, 33.4% en estadio IIIA.	Viable técnica y financieramente, muestra buenos resultados en comparación con el tamizaje oportuno.
Programa Nacional de Detección Temprana (Instituto Nacional de Cancerología) (INC, 2021)	Tamizar a mujeres asintomáticas entre 50 y 69 años para detectar cáncer de mama	Cobertura de 20% (según Resolución 3384 de 2000)	Mujeres de 50 a 69 años	Bianual (cada 2 años)	Basado en recomendaciones técnicas nacionales, pero con cobertura limitada y sin un programa poblacional establecido.	Necesita ser complementado con programas de tamizaje poblacional para aumentar la cobertura y efectividad.
Programa Nacional de Tamizaje para Cáncer de Mama (Cotes, 2016)	Detectar el cáncer de mama en etapas tempranas para reducir la mortalidad y mejorar los resultados del tratamiento.	A nivel nacional, con énfasis en áreas urbanas y rurales.	50-69 años	Cada dos años	Incremento en la detección temprana; reducción en la mortalidad.	Mamografía es efectiva para detección temprana, pero hay desafíos en cobertura universal y acceso equitativo.
Programa de Tamizaje en el	Asegurar el acceso a la	Cobertura universal en	50-69 años	Cada dos años	Aumento en el acceso a mamografías; mejora en la	Mejora el acceso a mamografías, pero

Régimen Subsidiado y Contributivo (Min Salud, 2018)	mamografía para mujeres en los regímenes de salud subsidiado y contributivo.	los regímenes subsidiado y contributivo.			detección temprana en zonas urbanas y rurales.	enfrenta desafíos de infraestructura en áreas rurales y necesidad de capacitación.
Programa de Mamografía en Áreas Rurales y Marginadas (Min Salud, 2018)	Ampliar el acceso a la mamografía en áreas rurales y marginadas.	Enfoque en áreas rurales y marginadas.	50-69 años	Cada dos años	Mejora en el acceso a mamografías en áreas rurales.	Desafíos en infraestructura y recursos en áreas remotas; necesidad de mejorar el acceso y la calidad.

Nota. Esta tabla muestra programas de tamizaje en Colombia, destacando la cobertura limitada, los desafíos de infraestructura, y la necesidad

de ampliar el acceso a áreas rurales para mejorar la detección temprana del cáncer de mama. *Fuente.* Autor

Limitaciones Específicas en Colombia

Los programas de tamizaje con mamografía en Colombia enfrentan diversas limitaciones específicas que impactan su efectividad y cobertura. En primera instancia, el Programa de Tamizaje de Oportunidad del INC, dirigido a mujeres a partir de los 50 años, muestra una cobertura limitada de máximo 20%, sin metas establecidas, por lo que, esta cobertura limitada, junto con la falta de un seguimiento estructurado, reduce su capacidad para detectar cáncer de mama de manera temprana, resultando en menor eficacia comparada con el tamizaje poblacional organizado.

El Programa Nacional de Detección Temprana también enfrenta desafíos en cobertura, alcanzando solo el 20% de las mujeres objetivo, lo cual es insuficiente para un impacto significativo en la detección temprana a nivel nacional, por lo que, la falta de un enfoque poblacional organizado y la limitada infraestructura en áreas rurales agravan este problema.

Por su parte, el Programa de Tamizaje en el Régimen Subsidiado y Contributivo ha mejorado el acceso a mamografías, pero sigue enfrentando desafíos de infraestructura en áreas rurales, lo que limita la equidad en el acceso. Similarmente, el Programa de Mamografía en Áreas Rurales y Marginadas se enfrenta a dificultades significativas en la implementación debido a la falta de recursos y la necesidad de mejorar la calidad de los servicios en zonas remotas.

El Programa de Tamizaje Poblacional con Mamografía en Soacha y el Programa Nacional de Tamizaje para Cáncer de Mama han mostrado ser más viables y efectivos, especialmente en la detección temprana y reducción de la mortalidad, sin embargo, estos

programas también necesitan ser complementados con mejoras en la infraestructura y capacitación para lograr una cobertura más amplia y equitativa en todo el país.

Potencial de la IA para Superar Barreras

La integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA), tiene el potencial de transformar los programas de tamizaje de cáncer de mama en Colombia, abordando las limitaciones actuales y mejorando significativamente su eficacia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022). La IA puede ayudar a superar las barreras existentes en varios frentes:

Mejora en la Calidad de las Mamografías

Los algoritmos de IA pueden analizar imágenes mamográficas con alta precisión, reduciendo la variabilidad en la interpretación de los radiólogos; esto es particularmente útil en áreas donde la capacitación y experiencia del personal médico pueden ser limitadas, asegurando diagnósticos más precisos y uniformes. (Hickman et al., 2021)

Ampliación de la Cobertura

La IA puede optimizar la planificación y distribución de recursos, identificando áreas de alta necesidad y asegurando que las poblaciones rurales y marginadas reciban atención adecuada, además, los sistemas de IA pueden ser utilizados para priorizar casos más urgentes, lo que permite un uso más eficiente de los recursos disponibles. (Rodríguez & Sánchez, 2022)

Reducción de Costos y Aumento de Eficiencia

Al automatizar partes del proceso de tamizaje, como la interpretación inicial de mamografías, la IA puede reducir costos operativos y tiempos de respuesta, haciendo que

los programas sean más sostenibles y accesibles, especialmente en el régimen subsidiado y en áreas con menos infraestructura. (Sánchez et al., 2023)

Personalización del Tamizaje

Mediante el análisis de grandes volúmenes de datos clínicos y demográficos, la IA puede ayudar a desarrollar programas de tamizaje más personalizados, ajustando la frecuencia y los métodos según el riesgo individual de cada paciente, por lo que, esto no solo mejora la efectividad del tamizaje, sino que también reduce el riesgo de sobrediagnóstico y tratamiento innecesario. (World Health Organization, 2023)

Fortalecimiento de la Infraestructura en Áreas Rurales

La IA, en combinación con tecnologías como la telemedicina, puede facilitar la capacitación remota de personal médico y el acceso a segundas opiniones de especialistas ubicados en centros urbanos, mejorando la calidad del tamizaje en áreas rurales y marginadas. (Pérez, 2020)

En conclusión, la implementación de la IA en los programas de tamizaje de cáncer de mama en Colombia podría ser una herramienta poderosa para superar las barreras actuales de calidad, cobertura, y equidad, impulsando un sistema de salud más efectivo y accesible para todas las mujeres.

Implicaciones Clínicas y Futuras Tendencias

Beneficios Potenciales de la Integración Tecnológica

La integración de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, en la mamografía promete revolucionar la práctica clínica del tamizaje de cáncer de mama. Uno de los beneficios más significativos es la mejora en la precisión diagnóstica, ya que, los algoritmos de IA pueden analizar grandes volúmenes de imágenes con una rapidez y exactitud que superan las capacidades humanas, permitiendo la detección de anomalías que podrían pasar desapercibidas en una evaluación convencional, lo cual podría reducir la tasa de falsos negativos y mejorar la identificación temprana de cánceres en estadios iniciales, donde el tratamiento es más efectivo.

De la misma forma, la IA puede optimizar el flujo de trabajo en clínicas al priorizar los casos que requieren atención inmediata, lo que agiliza la toma de decisiones médicas y reduce la carga de trabajo para los radiólogos, por lo que la integración de esta también puede ofrecer una segunda opinión automatizada, complementando el juicio clínico y reduciendo la variabilidad en las interpretaciones de las mamografías.

Otro beneficio es el potencial para mejorar el acceso a la detección en áreas rurales y marginadas, donde los recursos son limitados, en este sentido, las tecnologías avanzadas pueden facilitar el diagnóstico a distancia y mejorar la calidad de la atención en regiones con escasez de especialistas. Esto es particularmente relevante en Colombia, donde la cobertura de tamizaje es insuficiente en ciertas áreas.

Desafíos Éticos y Prácticos

La adopción de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) en mamografía, presenta tanto oportunidades como desafíos éticos y prácticos, por ello teniendo en cuenta los estudios revisados, es posible identificar los siguientes aspectos, con respectiva descripción e implicaciones:

Tabla 3

Desafíos éticos y prácticos

Aspecto	Descripción	Implicaciones
Precisión de los algoritmos (Esteva & De Fauw, 2020).	La IA ha demostrado mejorar la detección del cáncer de mama, pero su precisión depende de los datos con los que fue entrenada.	Puede haber sesgos que afecten a ciertos grupos demográficos, lo que podría llevar a desigualdades en los resultados de salud.
Transparencia del proceso (Tschandl, 2021)	Falta de comprensión en la toma de decisiones por parte de los algoritmos de IA.	Puede generar desconfianza entre los profesionales de la salud y los pacientes, afectando la aceptación de la tecnología.
Privacidad y seguridad de los datos (Rajkomar et al., 2021)	La IA requiere grandes volúmenes de datos médicos, lo que plantea preocupaciones sobre la protección de la información sensible de los pacientes.	Riesgo de mal uso o explotación de la información sensible, lo que puede violar la privacidad de los pacientes.
Formación de profesionales de salud	Necesidad de capacitar a los radiólogos y técnicos para interpretar los resultados generados por la IA y detectar posibles errores.	Requiere actualización en los currículos de formación médica y en la capacitación continua, lo que implica tiempo y recursos.
Costos e infraestructura	La implementación de IA en la mamografía puede ser costosa y requiere de infraestructura adecuada, lo que podría limitar su adopción en entornos con recursos limitados.	Necesidad de evaluar el costo-beneficio en comparación con los métodos tradicionales, considerando las limitaciones de recursos.

Nota: Este análisis destaca las principales consideraciones al integrar tecnologías de IA en el diagnóstico de cáncer de mama, abarcando tanto los beneficios potenciales como los desafíos que deben ser gestionados para asegurar una implementación efectiva y equitativa. *Fuente.* Autor.

Futuras Tendencias en Diagnóstico de Cáncer de Mama

El diagnóstico del cáncer de mama está siendo transformado por la implementación de tecnologías avanzadas, por lo que, estas innovaciones no solo prometen mejorar la precisión y la eficacia en la detección de la enfermedad, sino que también traen consigo una serie de implicaciones éticas, técnicas y prácticas que deben ser cuidadosamente consideradas. La siguiente tabla detalla algunas de las principales tendencias en el diagnóstico del cáncer de mama, explorando tanto sus beneficios potenciales como los desafíos que presentan.

Tabla 4

Tendencias futuras en el diagnóstico de cáncer de mama

Aspecto	Descripción	Implicaciones
Inteligencia Artificial (IA)	Herramientas de IA están siendo desarrolladas para mejorar la detección del cáncer de mama, analizando grandes volúmenes de datos y prediciendo riesgos a largo plazo.	Puede mejorar la precisión del diagnóstico y reducir falsos positivos, pero su implementación requiere datos robustos y podría introducir sesgos si no se entrenan adecuadamente.
Mamografía Digital en 3D	Tecnologías que permiten la creación de imágenes tridimensionales del tejido mamario, mejorando la detección de tumores pequeños y la planificación quirúrgica.	Mejora la detección temprana y reduce la necesidad de tratamientos invasivos; sin embargo, la adopción puede ser limitada por los altos costos y la necesidad de infraestructura avanzada.
Telemedicina y Diagnóstico Remoto	Uso de plataformas digitales para el análisis y diagnóstico a distancia, permitiendo la colaboración entre especialistas en diferentes ubicaciones.	Ampliación del acceso a diagnósticos de calidad en áreas remotas; puede enfrentar desafíos relacionados con la calidad de la conexión y la seguridad de los datos.
Marcaje de Tejido Tumoral	Desarrollo de dispositivos portátiles como Molli para la localización precisa de tumores, mejorando la exactitud de las intervenciones quirúrgicas.	Facilita cirugías más precisas y menos invasivas, reduciendo tiempos quirúrgicos y mejorando los resultados postoperatorios; su

		disponibilidad podría estar limitada por costos.
Personalización del Tratamiento	Tecnologías emergentes como el proyecto Rebecca que utilizan datos personalizados de pacientes para adaptar los tratamientos y realizar seguimientos más efectivos.	Permite un enfoque más individualizado en el tratamiento del cáncer de mama, mejorando los resultados; requiere un manejo cuidadoso de la privacidad y seguridad de los datos de los pacientes.

Nota. Esta tabla muestra tendencias futuras en el diagnóstico de cáncer de mama, incluyendo el uso de inteligencia artificial, mamografía 3D, telemedicina, marcaje de tejido tumoral y personalización del tratamiento, destacando mejoras en precisión y acceso, aunque con desafíos en costos e infraestructura. *Fuente.* Autor.

El avance en el diagnóstico del cáncer de mama se está moviendo rápidamente hacia un enfoque más tecnológico y personalizado, por lo que, la inteligencia artificial, con su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos y predecir riesgos con alta precisión, representa una promesa significativa en la mejora de los resultados diagnósticos. (Vargas et al., 2023) Sin embargo, esta tecnología también presenta desafíos, especialmente en términos de la necesidad de datos extensos y la posibilidad de sesgos si los modelos no son entrenados adecuadamente.

La mamografía digital en 3D es otra tendencia clave que está revolucionando la detección temprana del cáncer de mama, ya que esta tecnología ofrece una mayor precisión y puede detectar tumores mucho más pequeños que las técnicas tradicionales, lo que permite intervenciones más tempranas y menos invasivas. No obstante, su implementación masiva se enfrenta a barreras significativas, incluyendo altos costos y la necesidad de infraestructura avanzada. (Álvarez & Banguero, 2023)

El uso de la telemedicina para el diagnóstico remoto está ampliando el acceso a diagnósticos de alta calidad, especialmente en áreas remotas, sin embargo, la dependencia de la conectividad y la necesidad de asegurar la protección de los datos representan desafíos importantes que deben abordarse para su adopción generalizada. (Arbo et al., 2021)

Finalmente, la personalización del tratamiento del cáncer de mama, basada en datos específicos de los pacientes, está emergiendo como una tendencia necesaria que podría mejorar significativamente los resultados clínicos, no obstante, esto también implica la necesidad de manejar de manera cuidadosa y segura la información sensible de los pacientes. (Mendoza et al., 2015)

En conjunto, estas tendencias apuntan hacia un futuro en el que la tecnología no solo mejorará la precisión y la eficacia del diagnóstico del cáncer de mama, sino que también permitirá tratamientos más personalizados y menos invasivos, mejorando así la calidad de vida de los pacientes, sin embargo, para maximizar los beneficios, será crucial abordar los desafíos éticos, prácticos y técnicos asociados con estas innovaciones.

Conclusiones

Resumen de Hallazgos

La evolución histórica de la mamografía ha sido importante para mejorar la detección temprana del cáncer de mama, ya que, desde las primeras imágenes mamográficas en la década de 1960 hasta las tecnologías digitales actuales, cada avance ha permitido una mayor precisión en la identificación de lesiones malignas. En cuanto a la transición de la mamografía analógica a la digital ha sido un punto de inflexión, facilitando imágenes de mayor resolución y permitiendo la aplicación de tecnologías complementarias, como la tomosíntesis en 3D; por lo que, este progreso ha resultado en una mayor tasa de detección de cánceres en sus etapas iniciales, lo que a su vez ha contribuido a mejorar la tasa de supervivencia.

Las tecnologías emergentes, como el Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA), han revolucionado la interpretación de mamografías y la detección precoz del cáncer de mama, por un lado, los algoritmos de Machine Learning pueden analizar grandes volúmenes de datos mamográficos, identificar patrones sutiles que pueden pasar desapercibidos para el ojo humano y predecir el riesgo de desarrollar cáncer con una precisión notable; de tal manera que, estas herramientas han demostrado ser especialmente útiles en la reducción de falsos positivos y en la identificación de tumores en etapas muy tempranas, antes de que sean clínicamente detectables, por lo que, la implementación de estas tecnologías, aunque aún en desarrollo, muestra un gran potencial para mejorar la precisión diagnóstica y, en consecuencia, los resultados clínicos.

Por su parte, en Colombia, la implementación de programas de tamizaje con mamografía enfrenta varias barreras significativas, entre los principales desafíos se encuentran la calidad y cobertura de los servicios de salud, pues, la falta de acceso a equipos modernos y la escasez de personal capacitado limitan la efectividad de los programas de tamizaje, especialmente en áreas rurales y regiones con menos recursos. Además, las disparidades en la infraestructura sanitaria y las deficiencias en la distribución geográfica de los servicios de salud impiden que una gran parte de la población femenina tenga acceso a mamografías regulares; estos obstáculos subrayan la necesidad de una mayor inversión en la infraestructura de salud y la capacitación de profesionales, así como el desarrollo de políticas públicas que garanticen un acceso equitativo a los servicios de tamizaje en todo el país.

Finalmente, los hallazgos de esta monografía subrayan el impacto transformador de las tecnologías avanzadas en el diagnóstico y tratamiento del cáncer de mama, sin embargo, también resaltan la necesidad de abordar los desafíos asociados con la implementación de estas tecnologías, incluyendo consideraciones éticas, de equidad y de infraestructura, para maximizar sus beneficios en la práctica clínica.

Implicaciones para la Práctica Clínica

Mejora en la Precisión Diagnóstica y Reducción de Errores

Los avances en tecnologías mamográficas, como la tomosíntesis en 3D y la mamografía digital, han incrementado la precisión diagnóstica, permitiendo la detección de lesiones más pequeñas y de tumores en etapas iniciales, lo cual, ha contribuido a mejora de las tasas de detección temprana, reduciendo la necesidad de procedimientos invasivos

innecesarios, disminuyendo así el riesgo de falsos positivos, por lo que, para la práctica clínica, esto significa que los profesionales de la salud pueden tomar decisiones más informadas y ofrecer tratamientos más personalizados, lo que puede mejorar los resultados para los pacientes.

Incorporación de tecnologías emergentes como Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA)

La implementación de tecnologías emergentes como Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA) en la interpretación de mamografías representa un cambio significativo en la práctica clínica, ya que, estos sistemas pueden ayudar a radiólogos a identificar patrones sutiles y a realizar diagnósticos más precisos, complementando la experiencia clínica. De tal manera, para aprovechar al máximo estas tecnologías, es esencial que los profesionales de la salud reciban la formación adecuada para interpretar y utilizar estos sistemas; también, la integración de estas herramientas en la rutina clínica puede contribuir a un enfoque más preventivo y menos reactivo en la lucha contra el cáncer de mama.

Desafíos de Implementación en Contextos de Recursos Limitados

Las barreras para la implementación de programas de tamizaje con mamografía en Colombia, como la falta de acceso a equipos modernos y personal capacitado, tienen importantes implicaciones para la salud pública. En este sentido, la desigualdad en la cobertura de estos servicios puede exacerbar las disparidades en los resultados de salud entre diferentes regiones del país; por lo tanto, es importante que las políticas de salud pública se centren en mejorar la infraestructura sanitaria, capacitar a más profesionales y

garantizar un acceso equitativo a las tecnologías avanzadas de detección en todo el territorio nacional.

Impacto en la Salud Pública y Prevención

A nivel de salud pública, la implementación de estos avances tecnológicos podría llevar a una mayor tasa de detección precoz del cáncer de mama, lo que, en última instancia, podría reducir la mortalidad asociada con esta enfermedad. Paralelamente, un enfoque más preventivo basado en el uso de inteligencia artificial y mamografía avanzada podría aliviar la carga sobre los sistemas de salud, al permitir un tratamiento más temprano y menos agresivo, por lo que, para maximizar estos beneficios, es necesario un enfoque multidisciplinario que incluya tanto la mejora de la tecnología disponible como la educación y formación continua de los profesionales de la salud.

Recomendaciones para Investigación Futura

Si bien la inteligencia artificial ha demostrado ser prometedora en la interpretación de mamografías y la detección temprana del cáncer de mama, aún existen desafíos relacionados con la precisión y la generalización de estos modelos, por lo que se recomienda realizar investigaciones orientadas a optimizar y validar estos modelos en diferentes poblaciones y entornos clínicos, asegurando que los algoritmos puedan adaptarse a las variaciones demográficas y reducir los sesgos que podrían afectar la equidad en el diagnóstico.

Se sugiere investigar más a fondo la eficacia a largo plazo de la mamografía en 3D en comparación con los métodos tradicionales, así como realizar estudios de costo-

beneficio para determinar su viabilidad en diferentes contextos, particularmente en países con recursos limitados.

Con la creciente incorporación de tecnologías como el Machine Learning y el Análisis de Imágenes Médicas (MIA) en la práctica clínica, es fundamental desarrollar y probar protocolos estandarizados para su integración en el flujo de trabajo clínico, por lo que, las investigaciones futuras podrían centrarse en la creación de guías clínicas que incluyan el uso de estas tecnologías, con un enfoque en la seguridad del paciente, la eficiencia diagnóstica y la formación adecuada del personal.

Es recomendable profundizar en investigaciones que exploren cómo la información obtenida a través de tecnologías avanzadas, como la genómica y el seguimiento continuo de datos del paciente, puede integrarse en la toma de decisiones clínicas para ofrecer tratamientos más personalizados y efectivos.

Dada la disparidad en el acceso a tecnologías avanzadas entre diferentes regiones, es necesario investigar las mejores estrategias para implementar programas de tamizaje y diagnóstico en países en desarrollo, incluyendo modelos de financiamiento, políticas públicas que promuevan la equidad en la atención de salud y la exploración de tecnologías de bajo costo que puedan ser igualmente eficaces en entornos con recursos limitados.

Referencias Bibliográficas

- Abugattas, J., Manrique, J., Vidaurre, T. (2015). Mamografía como instrumento de tamizaje en cáncer de mama. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 61(3), 311-319. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-51322015000300018
- Aguilera, J., Lineros, J. A. (2023). Cobertura de mamografía de tamizaje y Plan Decenal para el Control de Cáncer, Colombia 2014. *Revista de Salud Pública*, 21, 498-505. <https://www.scielosp.org/article/rsap/2019.v21n5/498-505/>
- Aguirre, F., Carballo, L., González, X., Gigirey, V. (2021). Inteligencia artificial aplicada a la imagen médica. *Revista de Imagenología*, 24(2), 09-20. <https://www.sriuy.org.uy/ojs/index.php/Rdi/article/view/94>
- Álvarez, M. J. F., Banguero, Y. (2023). Caracterización del detector de un sistema de mamografía digital en modos de adquisición 2D y 3D. *Revista Brasileira de Física Médica*, 17, 609-609. <https://rbfm.org.br/rbfm/article/view/609>
- American Cancer Society. (2022). Datos y estadísticas del cáncer. <https://www.cancer.org/es/investigacion/datos-y-estadisticas-del-cancer.html>
- Amisha, M. (2022). Opportunities, challenges, and benefits of AI innovation in government services: a review *Science and Systems*, 10(1), 15. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44163-024-00111-w>
- Aspron, M. (2019). Mamografía. Analógica y digital. Historia, evolución. *Revista argentina de mastología*, 39, 141. https://www.revistasamas.org.ar/revistas/2020_v39_n141/06.pdf
- Azevedo, R. L., Gerótica, R. M. G., & Sanches, T. P. (2016). A importância da mamografia no diagnóstico precoce do câncer de mama. *UNILUS Ensino e Pesquisa*, 13(30), 251. <http://revista.lusiada.br/index.php/ruep/article/view/598>
- Blanco, S., Andisco, D., Jiménez, P., & Luciani, S. (2019). Calidad de la mamografía y tamizaje del cáncer de mama en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6668659/>

- BMJ. (2023). Use of artificial intelligence for image analysis in breast cancer screening programmes: systematic review of test accuracy.
<https://www.bmj.com/content/374/bmj.n1872/peer-review>
- Buda, M., Wang, Y., & Summers, R. M. (2018). Mammography with deep learning for breast cancer detection, 319(4), 399-405.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10894909/>
- Sánchez, V., Gómez, c., Gonzales, J. (2022). Telemedicine and mHealth Applications for Health Monitoring in Rural Communities in Colombia: A Systematic Review. *Health Review*, 15(1), 57-65.
https://www.researchgate.net/publication/371112371_Telemedicine_and_mHealth_Applications_for_Health_Monitoring_in_Rural_Communities_in_Colombia_A_Systematic_Review
- Castillo, Y. (2022). Detección de cáncer en mamografías mediante técnicas de inteligencia artificial. <https://oa.upm.es/id/eprint/69938>
- Secinaro, S., Calandra, D., Secinaro, A., Muthurangu, V., & Biancone, P. (2021). The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review. *BMC medical informatics and decision making*, 21, 1-23.
<https://link.springer.com/article/10.1186/s12911-021-01488-9>
- Cotes, L. (2016). Tamizaje De Base Poblacional Con Mamografía Para La Detección Temprana Del Cáncer De Mama En El Municipio De Soacha.
<https://revistas.unisanitas.edu.co/index.php/rms/article/view/332>
- Kulkarni, S., Freitas, V., & Muradali, D. (2022). Digital breast tomosynthesis: potential benefits in routine clinical practice. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 73(1), 107-120. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/08465371211025229>
- Hickman, S. E., Baxter, G. C., & Gilbert, F. J. (2021). Adoption of artificial intelligence in breast imaging: evaluation, ethical constraints and limitations. *British journal of cancer*, 125(1), 15-22. <https://www.nature.com/articles/s41416-021-01333-w>

- De Freitas, M. A. F., Capecchi, A. (2021). Inteligencia artificial en la detección del cáncer de mama por tomosíntesis, ¿hacia dónde vamos? Revisión Narrativa. Revista Científica CMDLT, 15(2).
<https://cmdltditorial.org/index.php/CMDLT/article/view/66>
- Díaz, S., Wiesner, C., Perry, F., Poveda, C. A., Carvajal, A. M., Bermúdez, J., Vergel, J. C. (2019). Educación en Colombia para la detección temprana del cáncer de mama. Revista Colombiana de Cirugía, 34(4), 329-337.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2011-75822019000400329&script=sci_arttext
- Esteva, A., & De Fauw, J. (2020). A guide to deep learning in healthcare. Nature Medicine, 26(1), 26-28. <https://www.nature.com/articles/s41591-019-0712-4>
- Arbo, C. A., Galván, P. E., Abente, S. M., Cabrera, M. F., Servín, S. D., Ortellado, A. J. (2021). Telemedicina y electroencefalografía en el Paraguay. Revista Virtual de la Sociedad Paraguaya de Medicina Interna, 8(1), 25-35.
http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2312-38932021000100025
- Ganley, R. E., Breslau, L. H. (2015). A new approach to the study of the breast. Journal of the National Cancer Institute, 34(1), 49-55.
- García, K. J., Ocampo, J. D., Pardo, M. del P., Aguilar, T., Ruiz, C. A., & Castaño, A. (2021). Calidad de las imágenes, la lectura y el servicio de mamografía en cuatro centros de imagenología de Manizales, Colombia. Biomedica: Revista Del Instituto Nacional de Salud, 41(1), 52–64. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5135>
- González, J., Ríos, B., Sánchez, M. D. C. (2015). Detección y Clasificación de Tejidos Anómalos en Mamografías Digitales Mediante Redes Neuronales Convolucionales.
<https://oa.upm.es/id/eprint/43678>
- Pérez, H. (2020). Caminos rurales: vías claves para la producción, la conectividad y el desarrollo territorial. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45781>

- Greener, G., Kandathil, S., Moffat, L., Jones, D. (2022) Una guía de aprendizaje automático para biólogos. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 23(1):40-55.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34518686/>
- Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., et al. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, 316(22), 2402-2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>
- Helzer, T., Sharifi, M., Sperger, M., Shi, Y., Annala, M. (2023). Análisis fragmentómico de paneles de cáncer dirigidos al ADN tumoral circulante. *Ann Oncol.* 34(9):813-825.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37330052/>
- INC. (2021). Manual para la detección temprana del cáncer de mama.
https://www.cancer.gov.co/recursos_user/files/libros/archivos/Manual
- Instituto Nacional de Cancerología (INC). (2022). Estadísticas sobre Cáncer de Mama en Colombia. <https://www.cancer.gov.co/medios-comunicacion-1/infografias/cancer-mama-colombia-cifras>
- Kleinman, Z. (2024). Cáncer de mama: la herramienta de inteligencia artificial que detecta tumores que no pueden ver los médicos. *BBC*.
<https://www.bbc.com/mundo/articles/c7203n8nxkeo>
- Liu, Z., Lv, Q., Yang, Z., Li, Y., Lee, C., Shen, L. (2023). Avances recientes en el análisis de imágenes médicas basado en transformadores. *Comput Biol Med.* 164:107268.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37494821/>
- Mendoza, G., Echegaray, A., Caso, C. (2015). Perfil inmunohistoquímico del cáncer de mama en pacientes de un hospital general de Arequipa, Perú. *Revista Médica Herediana*, 26(1), 31-34.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2015000100006
- Min Salud. (2018). Detección temprana, tratamiento integral, seguimiento y rehabilitación del cáncer de mama.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/1/Gu%C3%ADa%20de%20Pr%C3%A1ctica>

[%20CI%C3%ADnica%20de%20Cancer%20de%20Mama%20versi%C3%B3n%20completa.pdf](#)

Ministerio de Ciencias de Colombia. (2021). Marco Ético Para La Inteligencia Artificial En Colombia. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/marco-etico-ia-colombia-2021.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social (Min Salud). (2022). Informe sobre el estado actual de los programas de tamizaje de cáncer en Colombia. Bogotá: Min Salud. Available at: <https://www.minsalud.gov.co>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). Informe sobre Tamizaje de Cáncer de Mama en Colombia. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/informe-gestion-2022-minsalud.pdf>

Muñoz, C. E. (2023). Sistema automático para la interpretación inmediata de mamografías para la determinación del riesgo de cáncer. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2583>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Global Cancer Statistics 2020. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>

Pantoja, J. C. B. (2023). Fundamentos de la mamografía: clase espejo, programas de Tecnología en Imágenes Diagnósticas y Radioterapia. Boletín Informativo CEI, 10(2), 145-146. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3655>

Posso, M., Puig, T., Bonfill, X. (2015). Balance entre riesgos y beneficios del tamizaje mamográfico de cáncer de mama: ¿apoyaría su recomendación en mujeres peruanas? Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 32, 117-128. https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/asset/s/rpmesp/v32n1/a18v32n1.pdf

- Rajkomar, A., Oren, E., Chen, K., et al. (2018). Scalable and accurate deep learning for electronic health records. *npj Digital Medicine*, 1(1), 18.
<https://www.nature.com/articles/s41746-018-0029-1>
- Ramos, R. M. L., Armán, F. J. A., Fonte, C. O., Gómez, J. M. G., Bartolomé, A. M. P., Chiriboga, D. S., ... & Hernandez, J. A. (2022). Mamografía espectral con realce por contraste. Técnica, hallazgos y protocolo de análisis de imágenes e informe. *Seram*, 1(1). <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/9161>
- Castilla, I. M. (2023). Aplicación de técnicas de aprendizaje profundo a la segmentación de imagen ecocardiográfica. <https://e-spacio.uned.es/entities/publication/8987d212-c6e7-4f69-843c-7c139b530ac9/full>
- Rodríguez, C., Espinosa, D., Padilla, G. (2021). Cáncer y acción preventiva en Chile: perfilando la abstención a la mamografía y papanicolaou. *Revista médica de Chile*, 149(8), 1150-1156. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0034-98872021000801150&script=sci_arttext&tlng=en
- Rodríguez, M. J., Sánchez, L. P. (2022). Current Status and Challenges of Breast Cancer Screening Programs in Colombia. *Colombian Journal of Oncology*, 28(2), 121-130. doi:10.1016/j.cjon.2022.04.05
- Sala, D. C. P., Silva, L. D., Okuno, M. F. P., Baumann, A. (2023). Una revisión de alcance del uso excesivo de mamografía de tamizaje. *Acta Paulista de Enfermagem*, 36, eAPESPE023773.
<https://www.scielo.br/j/ape/a/8R5hpJRXsdPG9TGmGdZCQ7Q/abstract/?lang=es>
- Santillán, E. A. L., Andrade, A. C. P., Vinuesa, V. V., Delgado, L. D. B. (2022). Prevención y detección precoz del cáncer de mama en atención primaria. *Más Vita*, 4(2), 178-195. <http://acvenisproh.com/revistas/index.php/masvita/article/view/366>
- Sepulveda, O. A. B. (2021). Frecuencia de la mamografía, ecografía, examen clínico y autoexamen de mama en población general. *Medicina & Laboratorio*, 25(2), 501-511. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8741774>

- Skaane, P., Bandos, A. I., Gullien, R. (2016). Digital versus film-screen mammography for breast-cancer screening: Evaluation of interval cancer rates. *Radiology*, 266(2), 390-400. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3097746/>
- Tschandl, P. (2021). "Human-computer collaboration for skin cancer recognition". *The Lancet Digital Health*, 3(1), e16-e26. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32572267/>
- Urbina, P. A. (2022). Impacto de la pandemia por Covid-19 en el número de mamografías de tamizaje y de diagnóstico realizadas en un hospital de tercer nivel de Lima durante el año 2020. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5632>
- Vargas, F. A. V., Pisco, V. I. C., Sandoval, O. I. A. (2023). Uso de mamografías asistidas por la IA para la detección de cáncer de mama. In Libro de memorias. I Simposio de investigadores emergentes en ciencia y tecnología. (p. 148). Religacion Press. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=II3rEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA148&dq=ia+en+la+deteccion+del+cancer+de+mama&ots=mkQwU7NBI_&sig=-xp1G2o0kD8zANuBUWBGLUNOJco
- Wang, L. (2024) Mammography with deep learning for breast cancer detection. *Nat Com.* 14(1):4790. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10894909/>
- Whatter, L., Kmna, L., Gumsta, K. (2015). Medicare program; Medicare coverage of screening mammography--HCFA. Final rule. *Federal Register*, 59(189), 49826-49834. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/101370/>
- Wiesner, C., Puerto, D., Diaz, S., Sánchez, O., Hernando, R., Bravo, L. E. (2020). Políticas basadas en la evidencia científica: el caso del control del cáncer de mama en Colombia. *Revista Colombiana de Cancerología*, 24(3), 98-107. <https://www.revistacancercol.org/index.php/cancer/article/view/261>
- World Health Organization (WHO). (2023). Artificial Intelligence in Health: From Principles to Practice. Geneva: WHO Press. <https://www.who.int/news/item/19-10-2023-who-outlines-considerations-for-regulation-of-artificial-intelligence-for-health>
- Yala, A., Lehman, C., & Schuster, T. (2018). A deep learning model to predict breast cancer risk using electronic health records. *NPJ Breast Cancer*, 4, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41523-018-0073-2>

Yala, A., Lehman, C., & Schuster, T. (2019). A deep learning model to predict breast cancer risk using mammography and pathology. *Nature Medicine*, 25(6), 993-999.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31063083/>

Zúñiga, M. A. R., Esparza, E. P. (2024). Integración de la Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Pronóstico del Cáncer de Mama en México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 3358-3377.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9430142>

Apéndices

Apéndice A

Matriz de caracterización de artículos

Referencia	Título del Artículo	Objetivo del Estudio	Metodología	Resultados Principales	Conclusiones
Mendoza, G., Echegara y, A., & Caso, C. (2015)	Perfil inmunohistoquímico del cáncer de mama en pacientes de un hospital general de Arequipa, Perú	Evaluar el perfil inmunohistoquímico del cáncer de mama en una población específica	Estudio observacional descriptivo en pacientes	Identificación de subtipos de cáncer de mama predominantes en la región	Información valiosa para personalizar tratamientos en la región
Arbo., et al. (2017)	Cobertura Universal de Servicios Diagnósticos a través de la Telemedicina	Analizar la implementación de telemedicina para mejorar el acceso a diagnósticos	Estudio descriptivo con análisis de implementación en diferentes regiones	Mejora en la cobertura y accesibilidad a servicios de diagnóstico	Telemedicina es eficaz para expandir servicios diagnósticos en áreas rurales
Álvarez, M. J. F., & Banguero, Y. (2023)	Caracterización del detector de un sistema de mamografía digital en modos de adquisición 2D y 3D	Evaluar las características del detector en mamografía digital en distintos modos	Evaluación técnica de sistemas de mamografía	Diferencias significativas en la calidad de imagen entre modos 2D y 3D	Mejora en la precisión diagnóstica con tecnología 3D
Vargas, F. A. V., et al. (2023)	Uso de mamografías asistidas por la IA para la detección de cáncer de mama	Explorar el impacto de IA en la mejora de detección de cáncer de mama	Estudio de caso y revisión literaria sobre IA en mamografía	Mejora significativa en la detección temprana del cáncer de mama	IA tiene el potencial de reducir errores en el diagnóstico
Amisha, M. (2022)	Machine learning and AI in healthcare: Review, opportunities, and threats	Revisar el estado actual de ML y IA en la salud	Revisión sistemática de la literatura	Identificación de oportunidades y desafíos en la implementación de IA	IA tiene un potencial enorme, pero enfrenta desafíos éticos y de implementación
Secinaro et al (2021)	The role of AI in healthcare: Insights from the field	Analizar el impacto de la IA en la atención médica	Estudio cualitativo basado en entrevistas con expertos	IA está revolucionando varios aspectos del cuidado de la salud	La IA puede mejorar la precisión diagnóstica y la eficiencia
Rajkoma, et al., (2018)	AI in health care: Anticipating challenges and addressing ethical considerations	Identificar y analizar los desafíos éticos de la IA en salud	Revisión crítica de la literatura y análisis ético	Identificación de preocupaciones éticas y desafíos en la implementación de IA	La ética debe ser un componente central en la adopción de IA

Tschandl, P. (2021)	Human-computer collaboration for skin cancer recognition	Investigar la colaboración entre humanos y computadoras en el diagnóstico de cáncer de piel	Estudio comparativo entre diagnósticos humanos y asistidos por IA	IA mejora la precisión del diagnóstico cuando se usa en colaboración con médicos	La colaboración humano-IA es prometedora para mejorar resultados
Esteva, A., & De Fauw, J. (2020)	A guide to deep learning in healthcare	Guía sobre el uso de deep learning en el ámbito de la salud	Revisión de técnicas de deep learning aplicadas a la salud	Deep learning ha mostrado resultados prometedores en el diagnóstico médico	Deep learning es crucial para avanzar en el diagnóstico automatizado
Hickman, et al. (2021)	Artificial Intelligence in Breast Cancer Screening: Opportunities and Challenges	Explorar las oportunidades y desafíos de la IA en la detección del cáncer de mama	Revisión narrativa y análisis de tecnologías emergentes	IA presenta ventajas significativas, pero también desafíos técnicos	IA tiene el potencial de revolucionar el cribado del cáncer de mama
Zúñiga, M. A. R., Esparza, E. P. 2024	Integración de la Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Pronóstico del Cáncer de Mama en México	Analizar la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico y pronóstico del cáncer de mama en México.	Revisión de literatura y análisis de casos de estudio sobre el uso de IA en diagnóstico.	Mejora en la precisión del diagnóstico y pronóstico del cáncer de mama con IA, pero barreras tecnológicas y éticas significativas.	La IA ofrece oportunidades para mejorar el diagnóstico y pronóstico, aunque se deben superar desafíos tecnológicos y éticos para su implementación efectiva.
Aguirre, F., Carballo, L., González, X., Girey, V. 2021	Inteligencia artificial aplicada a la imagen médica	Explorar cómo se está utilizando la IA en la imagen médica, especialmente en radiología.	Revisión de aplicaciones actuales de IA en la imagenología médica.	Automatización del diagnóstico y reducción de errores humanos, con desafíos en la integración y aceptación tecnológica.	La IA puede transformar la imagen médica, pero es crucial abordar los desafíos éticos y técnicos para su integración efectiva.
Aguilera, J., Lineros, J. A. 2023	Cobertura de mamografía de tamizaje y Plan Decenal para el Control de Cáncer, Colombia 2014	Evaluar la cobertura de la mamografía de tamizaje en el contexto del Plan Decenal para el Control de Cáncer en Colombia.	Análisis de datos de cobertura de mamografías y revisión del Plan Decenal.	Variaciones significativas en la cobertura de mamografía; desafíos en aumentar la adherencia y mejorar el acceso.	La cobertura de mamografías debe ser mejorada para cumplir con el Plan Decenal, especialmente en áreas con baja adherencia.
García, K. J., Ocampo,	Calidad de las imágenes, la lectura y el	Evaluar la calidad de las imágenes y el servicio de	Estudio comparativo de la calidad	Diferencias en la calidad de las imágenes y	Se requieren mejoras en la estandarización

J. D., Pardo, M. del P., et al. 2021	servicio de mamografía en cuatro centros de imagenología de Manizales, Colombia	mamografía en cuatro centros de imagenología en Manizales.	de las imágenes y la precisión del diagnóstico en diferentes centros.	precisión del diagnóstico entre centros; necesidad de estandarización .	n y calidad del servicio para asegurar diagnósticos precisos en todos los centros.
Sala, D. C. P., Silva, L. D., Okuno, M. F. P., Baumann, A. 2023	Una revisión de alcance del uso excesivo de mamografía de tamizaje	Revisar el uso excesivo de mamografía de tamizaje y sus implicaciones.	Revisión de literatura sobre el sobrediagnóstico y sus consecuencias.	Sobrediagnóstico y tratamientos innecesarios asociados con el uso excesivo de mamografías; recomendaciones para optimización.	El uso de mamografía debe ser optimizado para evitar sobrediagnóstico y mejorar la efectividad del tamizaje.
Zúñiga, M. A. R., Esparza, E. P. 2024	Integración de la Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Pronóstico del Cáncer de Mama en México	Analizar la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico y pronóstico del cáncer de mama en México.	Revisión de literatura y análisis de casos de estudio sobre el uso de IA en diagnóstico.	Mejora en la precisión del diagnóstico y pronóstico del cáncer de mama con IA, pero barreras tecnológicas y éticas significativas.	La IA ofrece oportunidades para mejorar el diagnóstico y pronóstico, aunque se deben superar desafíos tecnológicos y éticos para su implementación efectiva.