

---

Imágenes que salvan vidas. La importancia de la IA en el análisis de imágenes diagnosticas para detección temprana de cáncer de mama

---

Autores

Edward Stiven Carrasco Gomez  
Jeisson Alexander Mendez Ramos  
Miguel Angel Ruiz Vega

Director

Jorge Ivan Romero Gelvez

Co-Director

Mauricio Garcés Restrepo



**Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano**  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería  
*Especialización en Desarrollo de Bases de Datos*

Bogotá - Colombia, Noviembre de 2024

# Índice

	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Descripción del Problema</b>	<b>2</b>
<b>3. Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. Requerimientos</b>	<b>5</b>
<b>5. Estado del Arte</b>	<b>7</b>
<b>6. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
<b>7. Solución propuesta</b>	<b>13</b>
7.1. Descripción general de la solución . . . . .	13
7.2. Modelo conceptual . . . . .	14
7.3. Estándares de la solución . . . . .	17
<b>8. Planeación del Trabajo</b>	<b>21</b>
8.1. Descomposición de actividades WBS . . . . .	21
8.2. Tablas de actividades . . . . .	21
8.3. Diagrama de Gantt . . . . .	22
<b>9. Presupuesto</b>	<b>24</b>
<b>10. Conclusiones</b>	<b>25</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>27</b>

## Índice de figuras

1.	Representación mamografía en 2D y 3D [15] . . . . .	10
2.	Arquitectura de una red neuronal convolucional. Capa de partida (imagen de entrada, o input) [17] . . . . .	12
3.	Diagrama de bloques con solución propuesta . . . . .	13
4.	WBS Descomposición de las actividades . . . . .	21
5.	Tabla de Actividades, sub tarea 1 y 2 . . . . .	21
6.	Diagrama de Gantt . . . . .	23

## Índice de tablas

1.	Cuadro de detalles de las actividades de la subtarea 1 . . . . .	22
2.	Presupuesto basado en horas de investigación y trabajo . . . . .	24

## Resumen

---

Este trabajo aborda el papel crucial de la inteligencia artificial (IA) en el análisis de imágenes diagnósticas para la detección precoz del cáncer de mama, una de las enfermedades más comunes y mortales en mujeres a nivel mundial. A lo largo de la historia, el tratamiento del cáncer de mama ha evolucionado significativamente, desde las primeras menciones de tumores en papiros antiguos hasta el uso de tecnología avanzada como los rayos X en el siglo XIX. Hoy en día, el cáncer de mama sigue representando un desafío, con diagnósticos tardíos y una creciente cantidad de casos en todo el mundo.

Uno de los principales problemas radica en las demoras en la detección y diagnóstico, tanto a nivel global como en países como Colombia, donde el cáncer de mama ocupa los primeros lugares en términos de incidencia y mortalidad. El tiempo promedio de diagnóstico puede ser de meses, lo que retrasa el tratamiento oportuno. A través de técnicas de tamizaje como la mamografía, los sistemas de salud tratan de detectar esta enfermedad en sus primeras etapas, pero la capacidad de los profesionales y el acceso limitado a recursos tecnológicos son barreras importantes.

La inteligencia artificial se presenta como una solución emergente para mejorar la precisión y rapidez en el diagnóstico. Con modelos como las redes neuronales convolucionales (CNN), la IA puede analizar grandes volúmenes de imágenes, identificando patrones que podrían pasar desapercibidos por los humanos. Estos sistemas pueden priorizar casos de alto riesgo, lo que permite a los médicos intervenir antes y con mayor precisión.

El objetivo principal de este trabajo es plantear un modelo basado en IA que sea capaz de analizar imágenes diagnósticas y apoyar el proceso de detección del cáncer de mama. Esto no solo aceleraría el diagnóstico, sino que también aumentaría la precisión, ayudando a reducir la mortalidad por esta enfermedad. Además, se busca investigar los modelos de IA existentes, sus ventajas y desafíos en su integración dentro de los sistemas de salud, y evaluar su rendimiento en términos de sensibilidad y precisión en la detección temprana.

En conclusión, la implementación de IA en oncología tiene el potencial de salvar vidas al mejorar los tiempos y la precisión del diagnóstico de cáncer de mama, permitiendo tratamientos más efectivos en etapas tempranas de la enfermedad.

## Abstract

---

This work addresses the crucial role of artificial intelligence (AI) in the analysis of diagnostic images for the early detection of breast cancer, one of the most common and deadly diseases among women worldwide. Throughout history, breast cancer treatment has evolved significantly, from early mentions of tumors in ancient papyri to the use of advanced technology like X-rays in the 19th century. Today, breast cancer remains a challenge, with late diagnoses and a growing number of cases globally.

One of the main issues lies in delays in detection and diagnosis, both globally and in countries like Colombia, where breast cancer ranks among the top in terms of incidence and mortality. The average time to diagnosis can take months, delaying timely treatment. Through screening techniques such as mammography, healthcare systems aim to detect this disease in its early stages, but the capacity of professionals and limited access to technological resources remain significant barriers.

Artificial intelligence emerges as a promising solution to improve the accuracy and speed of diagnosis. With models such as convolutional neural networks (CNNs), AI can analyze large volumes of images, identifying patterns that might go unnoticed by humans. These systems can prioritize high-risk cases, allowing doctors to intervene earlier and more precisely.

The primary objective of this work is to propose an AI-based model capable of analyzing diagnostic images and supporting the breast cancer detection process. This would not only accelerate diagnosis but also enhance accuracy, helping to reduce mortality from this disease. Additionally, the study aims to investigate existing AI models, their advantages and challenges in integrating into healthcare systems, and evaluate their performance in terms of sensitivity and accuracy in early detection.

In conclusion, the implementation of AI in oncology has the potential to save lives by improving the timeliness and accuracy of breast cancer diagnosis, enabling more effective treatments at early stages of the disease.

## 1. Introducción

La historia del cáncer de mama data de 1600 años A.C en los que en papiros se describe tumores de mama que se trataban mediante la cauterización, avanzando en la historia Califa Abderraman fue el primer cirujano documentado que realizó cirugías de cáncer de mama y en la que era partidario de la cauterización, el descubrimiento de las hormonas a finales del siglo XIX hizo suponer que eran la causa de los tumores malignos con tratamientos poco eficaces como la administraciones de testosterona y hasta uso de cortisona con resultados mediocres, el hallazgo en 1895 de los rayos X por Wilhelm Rontgen y los estudios de Marie Curie con el radium, inician la terapia radiactiva anticancerosa y con ella los tumores malignos de mama.

En el siglo XXI el tratamiento del cáncer de mama, el cual se detecta mediante un diagnóstico precoz y con un estudio preventivo, se basa en un trípode equilibrado entre la cirugía, radioterapia y quimioterapia, donde un equipo de cirujanos, radioterapeutas y oncólogos deberá determinar su estado y avance del cáncer de mama para este caso de estudio.

Actualmente se tiene una problemática a nivel mundial por el rápido crecimiento estadístico de cáncer de mama en mujeres en las que predomina el diagnostico tardío y lecturas poco acertadas de posibles hallazgos. Es por esto que la inteligencia artificial (IA) entra como coayudante el proceso médico para determinar mediante el análisis de imágenes diagnósticas y con el entrenamiento previo de patrones poder determinar con más exactitud posibles casos de cáncer de mama en mujeres que aún no presentan ningún signo de alarma que la lleve a consulta con médico especialista [1].

## 2. Descripción del Problema

El cáncer ha sido una enfermedad que ha impacto a la humanidad de manera significativa, en el año 2022 segun un comunicado de prensa realizado por la Organización Mundial de la Salud en el 2022 estiman que hubo alrededor de 20 millones de casos nuevos de cáncer y un numero nada menor en muertes llegando a 9.7 millones de decesos a causa de esta enfermedad [2].

La OMS indica en este mismo comunicado que el cáncer de mama se encuentra entre los tres primeros canceres diagnosticados en el mundo, alrededor el 11.6 % de los casos diagnosticados (2.3 Millones) corresponden a esta enfermedad y los decesos registrados fueron de 670.000 víctimas mortales de esta patología [2].

Situación reciente en Colombia.

De acuerdo con el instituto nacional de cancerología (INC) en su infografía de cifras de cáncer 2022 indica que se atendieron en Colombia 6.387 casos nuevos de esta patología en donde afecta a las mujeres en un 57.2 % de los casos reportados. La localización de estos canceres se da en un 17.9 % en el seno, de igual manera, las muertes a causa de cáncer en el 2022 certificadas fueron de 1.262 donde afecto a la población femenina en un 54.8 % de las defunciones [3].

Como lo indica el instituto, las cifras marcan una tendencia no solo al diagnóstico de la enfermedad sino también a las muertes que suceden en el país a la población femenina. Siendo el cáncer de seno la enfermedad más frecuente en la población de mujeres donde puntea no solo en diagnostico sino también en muertes.

Demoras en fase de diagnóstico.

Las demoras en el diagnóstico de la enfermedad se ha vuelto un cuello de botella, las personas que inician desde su cita 1 pasan por diferentes demoras en tiempo, cantidad de citas alarmantes, esto se debe a razones en muchas ocasiones administrativas o por carencia de diferentes insumos en este proceso de diagnóstico. De acuerdo con un artículo publicado en el 2011 titulado Demoras en el diagnóstico y tratamiento de mujeres con cáncer de mama en donde se realizó un estudio con muestra de 1106 mujeres que habían sido diagnosticadas con Cáncer de mama arrojó resultados preocupantes en términos del diagnóstico de la enfermedad, los resultados fueron contundentes en términos de tiempos de diagnóstico dado que el 49.5 % recibieron un diagnóstico en un tiempo de tres meses o menos y un 50.5 % tuvo un tiempo de diagnóstico en más de 3 meses [4].

Tamizajes y lecturas.

Con base en el artículo publicado Cobertura de mamografía de tamizaje y Plan Decenal para el Control de Cáncer, Colombia 2014, se estima que un mamógrafo y un técnico en radiología pueden hacer tres mamografías por hora, o 24 mamografías en 8 horas al día; este rendimiento puede llevar a una capacidad potencial de 6000 mamografías por mamógrafos al año, realizadas en 2000 horas anuales trabajadas, durante 50 semanas laborables y 40 horas trabajadas por semana. Cabe aclarar que este estándar no considera tiempo exclusivo para

mamografías de tamización [5]

De acuerdo con lo anterior para el presente trabajo de investigación se plantea una pregunta de investigación como epicentro de esta y es ¿Como impacta la detección temprana de cáncer de mama, cuando se priorizan los casos que se detectan en las mamografías de tamizaje apoyados por IA en análisis de imágenes?

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Plantear un modelo basado en IA que este en la capacidad de leer, analizar, priorizar y alertar las mamografías realizadas a pacientes en proceso de diagnóstico de cáncer de seno, de esa manera los profesionales de la salud tendrán la oportunidad de dar prioridad a los casos que se detecten con mayor riesgo de cáncer de mama.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar que modelos de IA se han investigado o desarrollado con respecto al análisis de imágenes, esto con base en trabajos investigativos, artículos o libros que se encuentren en bases de datos de consulta.
- Investigar las ventajas y desafíos de integrar herramientas de inteligencia artificial en los flujos de trabajo clínicos existentes para el diagnóstico del cáncer de mama, incluyendo aspectos como la formación del personal, la integración en los sistemas de imagenología y la aceptación por parte de los profesionales de la salud.
- Identificar a través de redes neuronales convolucionales (CNN) la clasificación de imágenes y reconocimiento de objetos en patrones previamente correlacionados.

## 4. Requerimientos

En esta etapa se van a describir aquellos requerimientos que son base para la estructura y finalidad del proyecto investigativo:

### Requerimientos de negocio.

- El modelo propuesto en la investigación deberá realizar el análisis de imágenes tipo mamografías con el fin de ayudar al sistema de salud en las lecturas de estas.
- El modelo deberá hacer una priorización en las lecturas de mamografías que encuentre o lee con anomalías, permitiendo inicialmente atender aquellos casos preocupantes.
- El modelo debe generar alertas a los profesionales de la salud de aquellos casos priorizados con el fin de dar inicio a todo el diagnóstico y tratamiento.
- El modelo debe contar con un sistema de base de datos que permita el almacenamiento de las lecturas de los usuarios que permita comparar lecturas con ciertos periodos de tiempo.

### Requerimientos de usuario.

- Un modelo de análisis de imágenes que permita disminuir los tiempos de lectura de los tamizajes mamarios de los usuarios.
- Que el modelo permita disminuir el número de citas para ser diagnosticados y dar inicio con un tratamiento.
- Que el modelo tenga la capacidad de analizar el historial de las mamografías con el fin de anticipar anomalías.

### Requerimientos funcionales.

- El almacenamiento de las mamografías debe hacerse en la base de datos que alimenta el modelo o bien fieles copias de estas.
- El modelo deberá almacenar otro tipo de datos del paciente para servir de insumo en adicional en los análisis, tales como antecedentes y datos personales.
- El modelo debe tener una alerta a los profesionales de la salud, pueden ser sincronizaciones con correos electrónicos, plataformas de alerta, entre otras.
- El usuario debe aceptar las políticas de tratamiento de datos para poder ser incluido en el modelo.
- El análisis que hace el modelo debe ser eficiente, confiable y de autoaprendizaje constante para fortalecer las lecturas realizadas.
- El modelo de cara al usuario debe generar alertas que permitan al usuario saber si sus tamizajes fueron priorizados a los profesionales de la salud o si no se detectan anomalías cancerígenas en las lecturas.

- El sistema debe con base en los tamizajes históricos realizar un análisis no solo de la lectura actual sino en comparación con las anteriores.

**Requerimientos de calidad.**

- El modelo debe tener un entrenamiento y programación idónea que garantice una lectura correcta.
- De acuerdo con el modelo de aprendizaje que sea elegido y/o propuesto debe tener un aprendizaje constante y con base en todos los resultados.
- El modelo debe generar las alertas de priorización de manera inmediata a la lectura, así como un sistema de notificación eficiente a todas las partes.

## 5. Estado del Arte

### Comportamiento de la enfermedad en Colombia

El Atlas de Mortalidad por Cáncer en Colombia 2017, realizado por Constanza Pardo, Esther de Vries, Lina Buitrago y Oscar Gamboa del Instituto Nacional de Cancerología, ofrece un análisis detallado sobre las tasas de mortalidad por cáncer en Colombia, destacando que el cáncer de mama y el de próstata son los más mortales. El estudio revela significativas disparidades regionales, con mayores tasas de mortalidad en áreas rurales debido a la falta de acceso a programas de detección temprana y servicios de salud adecuados. Esta situación subraya la urgente necesidad de mejorar la cobertura de tamizaje y tratamiento en las regiones más afectadas para reducir la mortalidad. El atlas concluye que mejorar el acceso a cuidados y fortalecer las políticas de salud en las áreas con mayor incidencia podría reducir considerablemente las muertes por cáncer en el país [6].

### Un vistazo a los tiempos en diagnóstico

El cáncer de seno es uno de los cánceres más diagnosticados en la población femenina, según un artículo publicado en 2011 por varios autores, muestra los resultados de una investigación hecha a una muestra de 1106 mujeres muestra un tiempo promedio de 91 días entre la primera cita y el diagnóstico de la enfermedad [4]. Por otro lado, en una investigación realizada por estudiantes de la universidad Jorge Tadeo Lozano en el año 2020, muestra un poco el panorama en la ciudad de Bogotá, ellas realizaron una encuesta en donde los resultados son bastante significativos si se habla de las demoras y tiempos en el diagnóstico, estos resultados evidencian que el 73 % de las personas fueron diagnosticadas cuando iban en la cita 4 (34 %), cita 5 (16 %) y cita 6 (23 %) [7].

En términos de tiempo el panorama puede verse incluso más trágico dado que en los resultados obtenidos en la investigación en mención, el 28 % de las personas tuvieron que pasar desde el día 1 hasta el diagnóstico de 93 a 123 días siendo este el porcentaje mayor en los resultados, muestran un tiempo promedio de 107 días en el diagnóstico [7]. Como se puede evidenciar desde ambas perspectivas los resultados son alarmantes, pero si se mira en días preocupa mucho más la situación.

### La inteligencia artificial en oncología

El artículo de Arturo Loaiza-Bonilla, "La inteligencia artificial en oncología: contexto actual y una visión hacia la próxima década", explora el impacto de la inteligencia artificial (IA) en oncología, destacando cómo esta tecnología está transformando áreas como la detección, diagnóstico, patología digital y optimización de tratamientos. La IA ha demostrado ser particularmente eficaz en la interpretación de imágenes médicas, donde supera a los métodos tradicionales en la detección de cáncer de mama y pulmón, reduciendo tanto falsos positivos como negativos. Estos avances, sobre todo en el uso de sistemas basados en IA para el análisis de imágenes, muestran que la tecnología está mejorando la precisión y personalización de los tratamientos, optimizando los procesos en oncología. Este estudio coincide con investigaciones globales que muestran el potencial de la IA para reducir errores diagnósticos y mejorar la ca-

lidad del tratamiento en la medicina oncológica. A medida que los sistemas de IA se integran más profundamente en los flujos de trabajo clínicos, es previsible que la inteligencia artificial siga desempeñando un papel fundamental en la reducción de la mortalidad y en el aumento de la efectividad de los tratamientos en los próximos años [8].

### **Un enfoque basado en aprendizaje profundo (Deep Learning).**

La irrupción de la Inteligencia Artificial (IA) en el ámbito de la medicina ha iniciado una era de transformaciones profundas en las prácticas diagnósticas, abriendo nuevos horizontes para la precisión y eficiencia en la detección de enfermedades. Se pretende explorar el impacto y las aplicaciones del aprendizaje profundo, una rama de la IA, en el diagnóstico médico.

El aprendizaje profundo, caracterizado por su capacidad para procesar y aprender de grandes volúmenes de datos, ha demostrado ser especialmente prometedor en el análisis de imágenes médicas, la predicción de enfermedades y la personalización de tratamientos. Este enfoque ha permitido superar algunas de las limitaciones inherentes a los métodos diagnósticos convencionales, ofreciendo herramientas que mejoran la precisión, reducen tiempos de espera y optimizan los recursos disponibles.

El uso del aprendizaje profundo en el diagnóstico médico ha revolucionado la forma en que se analizan y se interpretan los datos clínicos. El aprendizaje profundo, como técnica de inteligencia artificial, permite el procesamiento automático de imágenes médicas, como resonancias magnéticas y tomografías computarizadas, con el objetivo de identificar patrones y anomalías que los médicos podrían pasar por alto [9].

## 6. Marco Teórico

Las enfermedades son la principal causa de muerte en el mundo, el instituto nacional del cáncer en Estados Unidos (NIH) publicó en 2024 las estadísticas asociadas al cáncer en 2022, estas mencionan que el cáncer es una de las enfermedades que puntaron las causas de muerte en el mundo, aproximadamente 20 millones de personas fueron reportadas como casos nuevos y cerca de 9,7 millones fallecieron a causa de esta patología [10].

De acuerdo con un artículo publicado en marzo del 2024 por la organización mundial de la salud se detectaron 2,3 millones de diagnósticos nuevos de cáncer de mama en el mundo y alrededor de 670.000 personas fallecieron a causa de esta enfermedad lo que lo hace una enfermedad de alto impacto a nivel mundial [11].

Esta enfermedad puede ser diagnosticado en mujeres de todas las edades principalmente los casos más recurrentes en mujeres mayores de 40 años, a pesar de que es una enfermedad que principalmente se detecta en mujeres (99 % de los casos) se puede presentar en hombres en un 0,5 % de los casos y es que este cáncer consiste en un aumento de las células de la mama que resultan con alteración, estas comienzan a desarrollarse en los conductos galactóforos aquellos que producen la leche del seno, por lo cual llegan a propagarse de manera aceleradas en la mama o en el peor de los casos en ganglios linfáticos cercanos produciendo una metástasis [11].

### **Métodos de diagnóstico actuales.**

Actualmente hay métodos utilizados para la detección del cáncer de mama, entre estos el más común es la mamografía, esta es una imagen que se toma del interior de la mama y detecta malformaciones o tumores de tamaño pequeño o imperceptible al tacto. Actualmente hay diferentes tipos de mamografías; mamografías por película a partir de rayos x, mamografías digitales por renderizado en computador, tomosíntesis digitales que trata de diferentes tomas de rayos x que forman al juntarlas una imagen tridimensional [12].

Dentro del proceso de diagnóstico del cáncer de mama se pueden tomar varios exámenes asociados a una mamografía, como parte de las recomendaciones médicas se sugiere a las mujeres realizarse el autoexamen que se genera por medio del tacto.

### **Mamografía de cribado.**

Esta es un tipo de mamografía realizado como medida inicial a mujeres mayores de 40 años y se puede considerar más un examen rutinario, este procedimiento consiste en la toma de dos imágenes de cada seno, una que se realiza de arriba hacia abajo y la otra que se realiza de manera lateral del seno, la finalidad de este examen es poder identificar anomalías que no son perceptibles al tacto, en otros casos se toman precisamente para corroborar posibles masas [13].

### **Mamografía diagnóstica.**

Las mamografías de diagnóstico se dan cuando la mujer presenta síntomas como pueden ser la presencia de bultos o masas, dolor de la mama, engrosamiento de la piel de la mama,

secreción de los pezones o cambios en los tamaños de la mama, en otros casos cuando en la mamografía de cribado se detectan anomalías y es que en este procedimiento se suele hacer concentraciones en zonas específicas, razón por la cual puede haber mayor toma de imágenes y por ende más radiación debido a los rayos x [14].

### Tomosíntesis digital o mamografía en 3D.

Este tipo de mamografía inicio su desarrollo en el actual milenio y se ha estado implementando de manera progresiva en la última década, consiste en una serie de imágenes tomadas por un mamógrafo desde diferentes ángulos, la toma de estas imágenes permite que se haga una reconstrucción tridimensional del seno y poder generar una visión mucho más cercana y exacta [15].

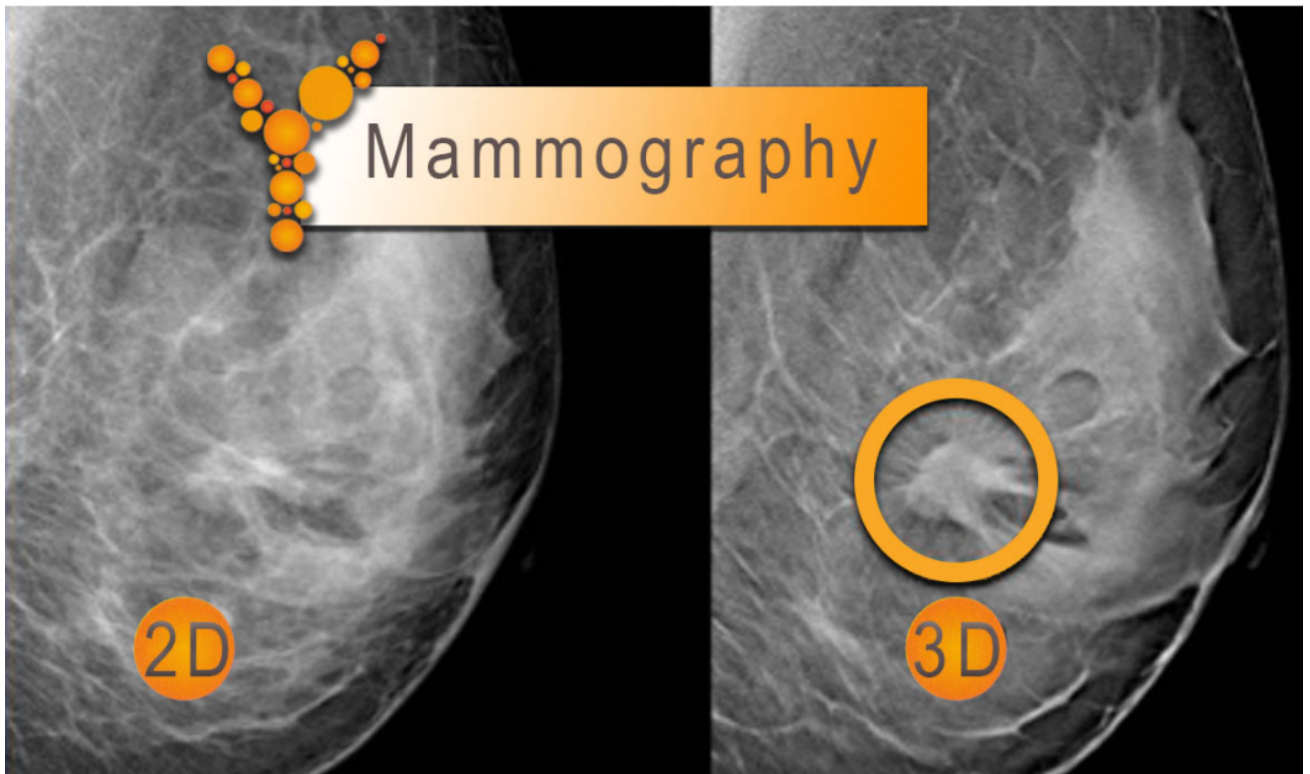


Figura 1: Representación mamografía en 2D y 3D [15]

Desde la visión de varios textos la comparación entre una mamografía tradicional en 2D y la tomosíntesis en 3D la hacen como quien visualiza un libro, la mamografía en 2D es como la portada o contraportada mientras que la toma de una imagen en 3D es como tener todo el libro para la lectura y comprensión profunda. Como se puede evidenciar en la imagen mientras que una toma tradicional difícilmente se ve un posible daño, en la imagen renderizada en 3D genera una visual clara y nítida de la anomalía lo que se traduce en hallazgos en la enfermedad más claros y precisos.

## **Fundamentos de Machine learning y Deep learning.**

En el avance teórico y conceptual de la presente investigación es importante definir algunos modelos de aprendizaje que son bastante populares en la definición y construcción de herramientas con IA, de ese modo se debe iniciar hablando de machine learning, este modelo de aprendizaje automático utiliza diferentes algoritmos que le permiten a la herramienta o a una maquina conocer y aprender sobre situaciones específicas, este modelo intenta identificar, clasificar y deducir , esto mediante una serie o variedad de datos que se deben suministrar para el aprendizaje o entrenamiento de estos modelos, a partir de estos entrenamientos está en la capacidad de analizar nuevos casos ingresados.

Por otro lado, el concepto de deep learning como su nombre lo indica se estructura bajo un modelo de aprendizaje profundo parecido a lo que es las redes neuronales del cerebro humano, ideales para tareas de análisis de voces e imágenes [16]. Mientras los modelos de machine learning funcionan como algoritmos de regresión lineal o arboles de decisiones en deep learning funciona como capas y redes neuronales profundas.

Para el proyecto investigativo es clave definir bajo que modelo de los anteriores nombrados se tomará para que sirva de guía en el desarrollo de una propuesta para la solución la problemática planteada y es que es importante resaltar que, según los modelos, el más idóneo para el análisis de imágenes es la deep learning. Dado esto es importante entender la arquitectura con la cual se quiere proponer la solución para ello se debe dar apertura a un concepto llamado redes neuronales convolucionales (CNN)

### **Redes convolucionales.**

Este tipo de arquitectura tipo redes neuronales actúan de forma muy parecida a como lo hace la corteza visual primaria del cerebro, en esencia lo que se busca es que al igual de como lo hace el ser humano que identifica y distingue diversos objetos por medio de la clasificación de características como los son las sombras, texturas, colores, etc. De esta manera lo realice el modelo creado. Este tipo de arquitectura es idóneo para imágenes tanto en 2D como en 3D [17].

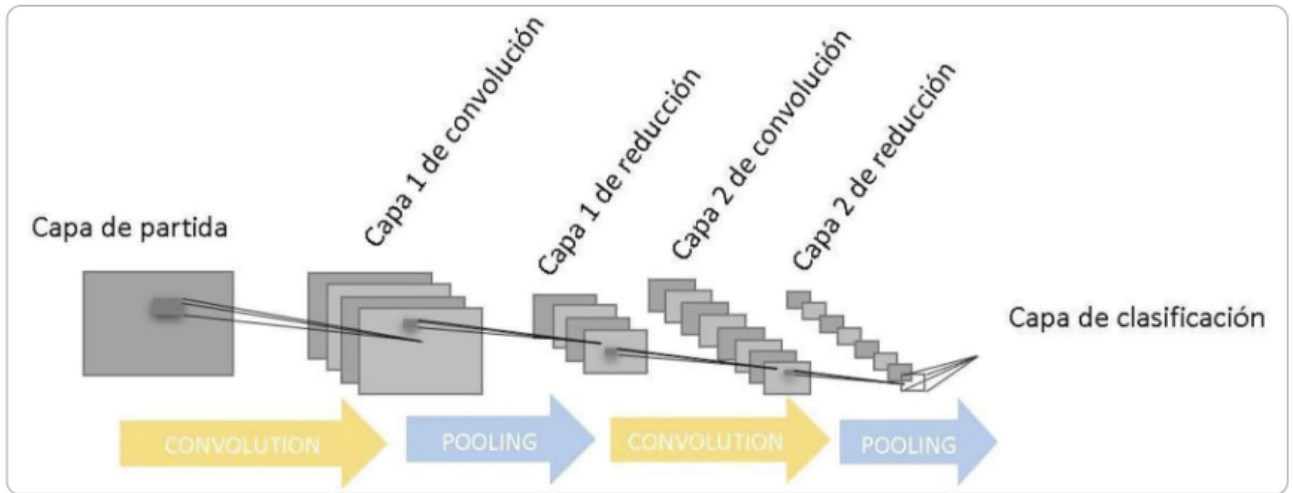


Figura 2: Arquitectura de una red neuronal convolucional. Capa de partida (imagen de entrada, o input) [17]

Dada la imagen de referencia las dos primeras capas de una arquitectura CNN actúan como identificación de las características que definen al objeto colores, texturas, formas, las segundas capas ya está en la capacidad de clasificar si el objeto pertenece a un grupo de etiquetas de las cuales obtuvo las características [17].

## 7. Solución propuesta

### 7.1. Descripción general de la solución

Para la presente investigación y la problemática presentada se plantea una solución basada en un aplicativo con IA el cual tiene la misión de hacer lectura de imágenes asociadas al cáncer de seno con el fin leer, analizar, clasificar y alertar las posibles anomalías, con el fin de alertar al radiólogo o profesional sobre los hallazgos, de esta manera se pretende encaminar los esfuerzos de los profesionales hacia aquellos casos que representan riesgos alto de la enfermedad realizando una gestión de diagnóstico mucho más rápida en pro de los pacientes.

3.

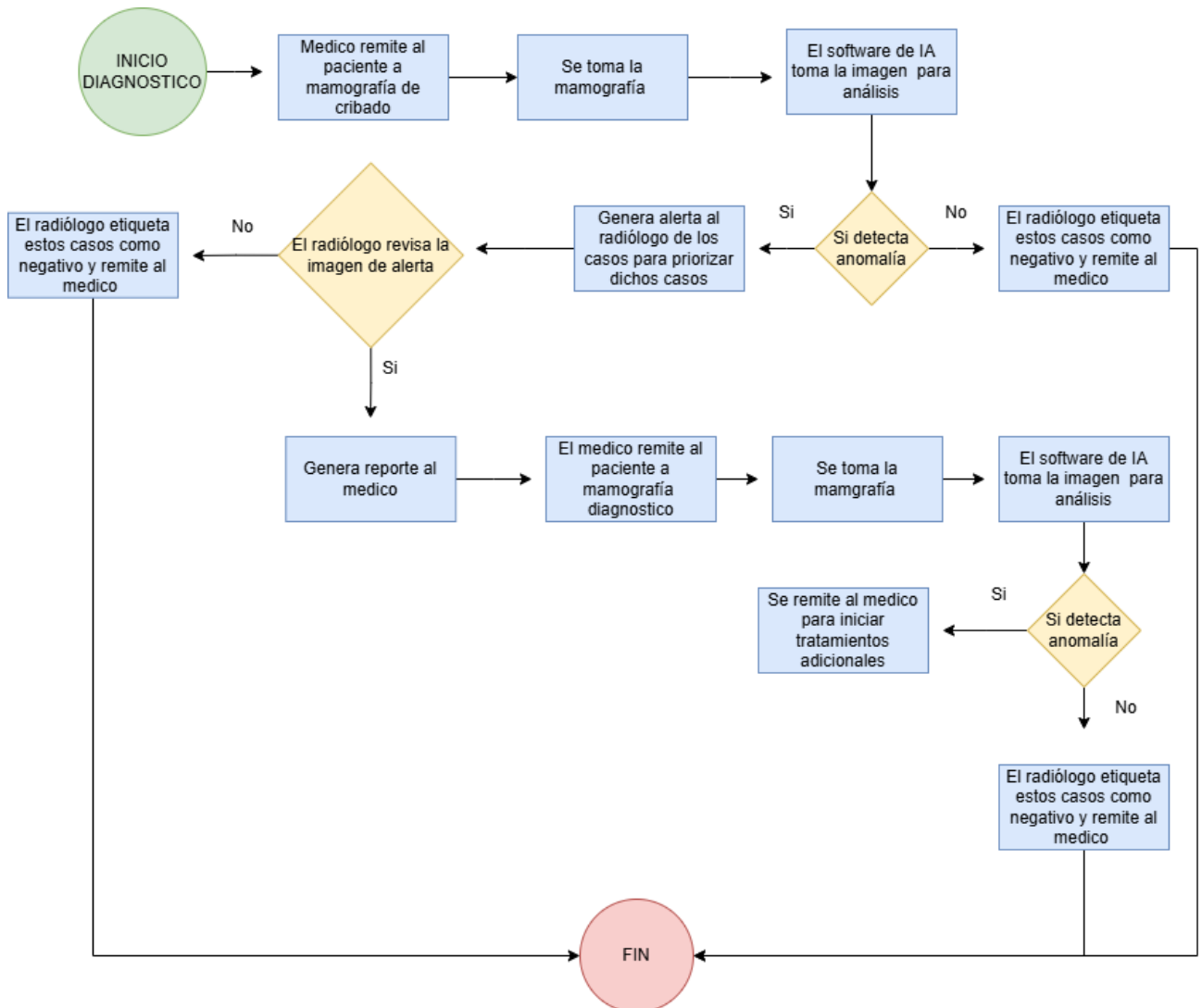


Figura 3: Diagrama de bloques con solución propuesta

## 7.2. Modelo conceptual

El cáncer es una de las patologías que más defunciones genera a nivel mundial, en las mujeres el cáncer de seno es uno de los más frecuentes y mortales, la falta de un diagnóstico temprano es una de las causas por las cuales los tratamientos de cáncer llegan a iniciar en etapas tardías, si bien algunos procesos administrativos asociados a la salud son causas frecuentes de demora cuando el diagnóstico es demorado y genera un cuello de botella en el sistema de salud que agrava a un más el estado de las personas.

Dado lo anterior, se propone plantear una solución basada en un modelo de deep learning bajo una arquitectura de redes convolucionales (CNN) que por su efectividad en la clasificación de imágenes usando patrones como formas, figuras, colores, entre otros, en consecuencia, la elección de esta tecnología. Con la implementación de herramientas como está el análisis de las diferentes imágenes médicas relacionadas a cáncer de mama pueden llegar a ser analizadas, clasificadas y alertadas al radiólogo con el fin de servir como filtro de priorización lo que permitirá al personal médico centrarse en aquellos casos que se identifiquen como urgente y disminuyendo de manera significativa los tiempos entre cada fase o paso para llegar al diagnóstico y/o tratamiento.

Para el buen funcionamiento o relación en este proceso es claro determinar algunos componentes que dentro de la solución propuesta deberán tener una sinergia y sincronización de trabajo para el éxito de esta.

### **Dataset para entrenamiento.**

Se debe contar con Dataset de diferentes imágenes (mamografías) para el entrenamiento del modelo, esté servirá como insumo en este proceso. La función de este desarrollo se plantea en dos tipos de mamografías, mamografías en 2D y en tomosíntesis digital (3D), la razón de esto es que actualmente muchas de las imágenes que se hace en cribado o en exámenes de rutina se realizan en 2D, por ello es fundamental contar con bancos de imágenes tanto en 2D y en 3D.

Algunos de estos datasets son los siguientes:

Algunos de las entidades que tienen esta información:

- Cancer Image Archive
- INESC TEC disponible en Kaggle con el dataset INbreast Dataset
- University of South Florida en DDSM: Digital Database for Screening Mammography

En Tomosíntesis digital 3D:

- NHS (National Health Service) en OPTIMAM Mammography Image Database (OMI-DB)
- Hologic en Hologic Digital Breast Tomosynthesis Dataset

Se debe aclarar que se buscará y propondrá el uso de modelos pre entrenados con el fin de aprovechar recursos ya existentes y optimizar tiempos, esto no significa que estos modelos pre entrenados son totalmente óptimos y por ende se deberá hacer un fine-tuning (ajuste fino) para reducir y minimizar los errores y asegurar una precisión adecuada en la lectura.

### **Modelos pre entrenados.**

El planteamiento de la solución contempla el uso de modelos pre entrenados en áreas de radiología relacionada con el cáncer de mama, esto es un recurso importante en aras de ahorro de costos y tiempo en el despliegue de la solución.

En este caso Kaggle plataforma diseñada para un público objetivo como lo son los científicos de datos, ingenieros y miles de personas apasionadas por los datos y modelos de IA tiene dentro de su comunidad realiza concursos o competencias en donde los participantes resuelven problemas relacionados con datos y que son patrocinados por empresas o entidades, de acuerdo con esto, tomamos como insumo importante un modelo patrocinado por La Sociedad Radiológica de Norteamérica, el cual por medio de la competencia o concurso utilizo un conjunto de datos de imágenes en formato DICOM de 8000 pacientes.

Se relaciona el hipervínculo con la documentación de la propuesta ganadora:  
<https://www.kaggle.com/competitions/rsna-breast-cancer-detection/discussion/392449>

Este modelo pre entrenado será fundamental para tener un punto de partida.

### **Procesamiento de Imágenes.**

Las imágenes se procesan utilizando un método conocido como Redes Neuronales Convolucionales (CNN). Este tipo de arquitectura de aprendizaje profundo está diseñada específicamente para analizar datos con una estructura en forma de rejilla.

Para describir el análisis de datos en forma de rejilla podemos decir que esta estructura procesa las imágenes bidimensionales (2D) en forma de matriz, las cuales se componen de filas y columnas, donde cada elemento corresponde a un píxel.

En el caso de las imágenes en blanco y negro, los valores de intensidad de los píxeles oscilan entre 0 (negro) y 255 (blanco). Por otro lado, las imágenes a color se representan como matrices tridimensionales (3D), que incluyen alto, ancho y profundidad, dadas las propiedades de las imágenes 3d estas nos permiten a través de las CNN hacer un análisis más exhaustivo y mediante el entrenamiento previo poder detectar anomalías en imágenes con patrones que contienen indicios de cáncer de mama.

Las CNN son ampliamente utilizadas en tareas como reconocimiento, clasificación y segmentación de imágenes debido a su capacidad para identificar patrones y características espaciales de forma eficiente, lo que las convierte en una herramienta fundamental en el procesamiento de imágenes modernas.

### **Clasificación y detección de anomalías.**

Las redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés) están diseñadas para analizar y clasificar imágenes médicas, como mamografías, identificando posibles masas tumorales y diferenciando entre tejidos benignos o malignos. Además, son capaces de detectar microcalcificaciones, un hallazgo que representa un desafío incluso para radiólogos experimentados debido a su pequeño tamaño y sutil apariencia.

El flujo de trabajo de una CNN permite clasificar eficazmente los casos para los que ha sido entrenada. En este contexto, la ecualización de histograma desempeña un papel clave como técnica de procesamiento de imágenes, ya que redistribuye los valores de intensidad de los píxeles, extendiéndolos a lo largo de todo el rango disponible. Esto mejora el contraste de la imagen, lo cual es especialmente útil en mamografías, donde detalles clínicamente relevantes pueden pasar desapercibidos debido a un rango limitado de intensidad o contraste insuficiente.

Tras mejorar el contraste de las imágenes, el sistema CNN avanza a una etapa adaptativa, analizando píxel por píxel en busca de posibles cambios estructurales. Esta evaluación detallada permite identificar patrones anormales, clasificando.

Este enfoque mejora la precisión en la detección de anomalías y proporciona un apoyo invaluable para los especialistas, reduciendo errores diagnósticos y optimizando la toma de decisiones clínicas.

### **Salida y resultados.**

La salida corresponde a los datos procesados y analizados por la CNN tras su flujo de trabajo, los cuales se presentan en formato digital o gráfico y reflejan los hallazgos del modelo. Esto incluye:

las imágenes en cinco categorías principales. Los resultados se presentan como un informe de hallazgos que puede incluir:

1. Categorización de resultados.
  - Tejido normal
  - Microcalcificaciones benignas
  - Microcalcificaciones malignas
  - Masas benignas
  - Masas malignas
2. Mapas de calor o regiones de interés (ROI).
  - Resaltar áreas específicas de las imágenes donde se identificaron posibles anomalías, facilitando su localización y revisión por especialistas.

### 3. Resultados del sistema CNN.

Los resultados son el producto final que el sistema proporciona tras el análisis y pueden usarse directamente para informar decisiones clínicas:

- Informe de hallazgos:
  - a. Un documento detallado que describe los resultados de la clasificación, identificando el tipo de anomalía (si la hay) y su ubicación en la imagen.
  - b. Ejemplo de salida textual: Imagen 1: Presencia de microcalcificaciones benignas en cuadrante superior izquierdo, confianza del 94 %.

- Soporte a decisiones clínicas:

Los resultados permiten priorizar casos urgentes, como aquellas imágenes clasificadas con alta probabilidad de masas malignas.

- Reducción de carga laboral:

Automatizar la clasificación inicial reduce el tiempo que los radiólogos necesitan dedicar a casos normales o benignos, permitiéndoles enfocarse en imágenes de mayor riesgo.

- Optimización de diagnósticos:

Al mejorar la detección y el análisis de microcalcificaciones y masas, el sistema apoya el diagnóstico temprano del cáncer de mama, aumentando la tasa de detección y reduciendo errores humanos.

## 7.3. Estándares de la solución

### 1. Estándares técnicos

#### **Formato de las Imágenes:**

El sistema debe ser capaz de procesar imágenes en formatos estándar como DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), que es ampliamente utilizado en el sector médico para almacenar y transmitir imágenes médicas.

Debe garantizar la integridad de las imágenes durante el proceso de carga y análisis.

#### **Calidad de Imagen:**

El sistema debe garantizar una mínima resolución para las mamografías que permita una correcta identificación de anomalías. Se recomienda un mínimo de 300 DPI (puntos por pulgada) para las imágenes mamográficas.

### **Tecnologías de Inteligencia Artificial (IA):**

**Modelo de IA:** El sistema utilizará un modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN), que se ha demostrado ser eficaz en la clasificación de imágenes médicas. El modelo debe estar entrenado con una base de datos diversa y representativa para asegurar la capacidad de generalización.

**Aprendizaje Automático:** El modelo debe ser capaz de aprender y mejorar su precisión con el tiempo mediante un proceso de reentrenamiento continuo utilizando nuevos datos y actualizaciones periódicas.

### **Seguridad de los Datos:**

Todos los datos de los pacientes, incluyendo las imágenes y cualquier información relacionada, deben ser anonimizados y encriptados para garantizar la privacidad y cumplir con normativas como la Ley de Protección de Datos Personales (en Colombia, la Ley 1581 de 2012 y sus decretos reglamentarios).

Las imágenes y los datos de los pacientes deben ser almacenados de manera segura en una base de datos que cumpla con los estándares de protección de datos médicos (HIPAA en EE. UU. o la ley de protección de datos de la UE).

## **2. Estándares Funcionales**

### **Interfaz de Usuario:**

La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar para que los radiólogos o médicos puedan utilizarla sin dificultad. Las alertas de riesgo deben ser claras y destacarse visualmente con colores o iconos llamativos.

Debe incluir una opción para que los profesionales de la salud puedan ver las imágenes originales y las interpretaciones del modelo de IA, con la posibilidad de revisar las áreas destacadas donde se encontraron anomalías.

### **Notificaciones y Alertas:**

El sistema debe generar alertas inmediatas para los casos que presenten anomalías de alto riesgo. Las alertas deben enviarse a los radiólogos y profesionales de salud a través de notificaciones dentro de la plataforma, correo electrónico y/o mensaje de texto según las preferencias del usuario.

Las alertas deben incluir detalles como el nivel de riesgo (por ejemplo, alto, medio, bajo) y la ubicación de las anomalías en la imagen.

### **Base de Datos:**

El sistema debe almacenar todas las imágenes analizadas y los resultados de las alertas, con información relacionada al paciente, permitiendo la comparación de resultados históricos. La base de datos debe ser escalable, permitiendo un crecimiento adecuado conforme se incorporen más imágenes y datos.

### **3. Estándares de Rendimiento**

#### **Tiempo de Procesamiento de Imágenes:**

El sistema debe ser capaz de procesar y analizar una mamografía en menos de 5 minutos. Este tiempo debe ser lo suficientemente rápido como para no generar retrasos significativos en el flujo de trabajo de los radiólogos.

Las alertas y los resultados del análisis deben ser generados en tiempo real para priorizar los casos de mayor riesgo.

#### **Precisión del Modelo de IA:**

El modelo de IA debe alcanzar una sensibilidad mínima del 90% para la detección de cáncer de mama, lo que asegura que la mayoría de los casos de cáncer sean identificados.

La precisión debe ser igualmente alta, minimizando la cantidad de falsos positivos.

Las métricas de desempeño deben ser continuamente evaluadas y ajustadas mediante un sistema de retroalimentación.

### **4. Estándares de Integración**

#### **Interoperabilidad con Otros Sistemas Médicos:**

El aplicativo debe ser capaz de integrarse con los sistemas de historia clínica electrónica y otros sistemas de gestión de imágenes médicas utilizados en hospitales y clínicas.

#### **Accesibilidad y Usabilidad:**

El sistema debe ser accesible desde dispositivos de escritorio y móviles, para que los profesionales puedan acceder a las imágenes y alertas en cualquier momento y lugar.

La plataforma debe ser compatible con diferentes sistemas operativos (Windows, Mac, Linux) y contar con aplicaciones móviles para iOS y Android.

### **5. Estándares de Calidad y Mantenimiento**

#### **Calidad del Modelo de IA:**

El modelo de IA debe ser evaluado periódicamente para garantizar su precisión y capacidad para identificar anomalías.

El modelo debe ser reentrenado periódicamente con nuevas imágenes y datos de pacientes para mejorar su capacidad de detección y adaptarse a nuevos tipos de cáncer.

**Mantenimiento Continuo:**

El sistema debe contar con un plan de mantenimiento regular para asegurar que las actualizaciones de software, seguridad y rendimiento se realicen sin interrumpir la operación. Se debe ofrecer soporte técnico disponible para los usuarios en caso de problemas o fallos en el sistema.

## 8. Planeación del Trabajo

### 8.1. Descomposición de actividades WBS

Se muestra a continuación el Work Breakdown Structure (WBS) planteado para el proyecto investigativo, figura 4.

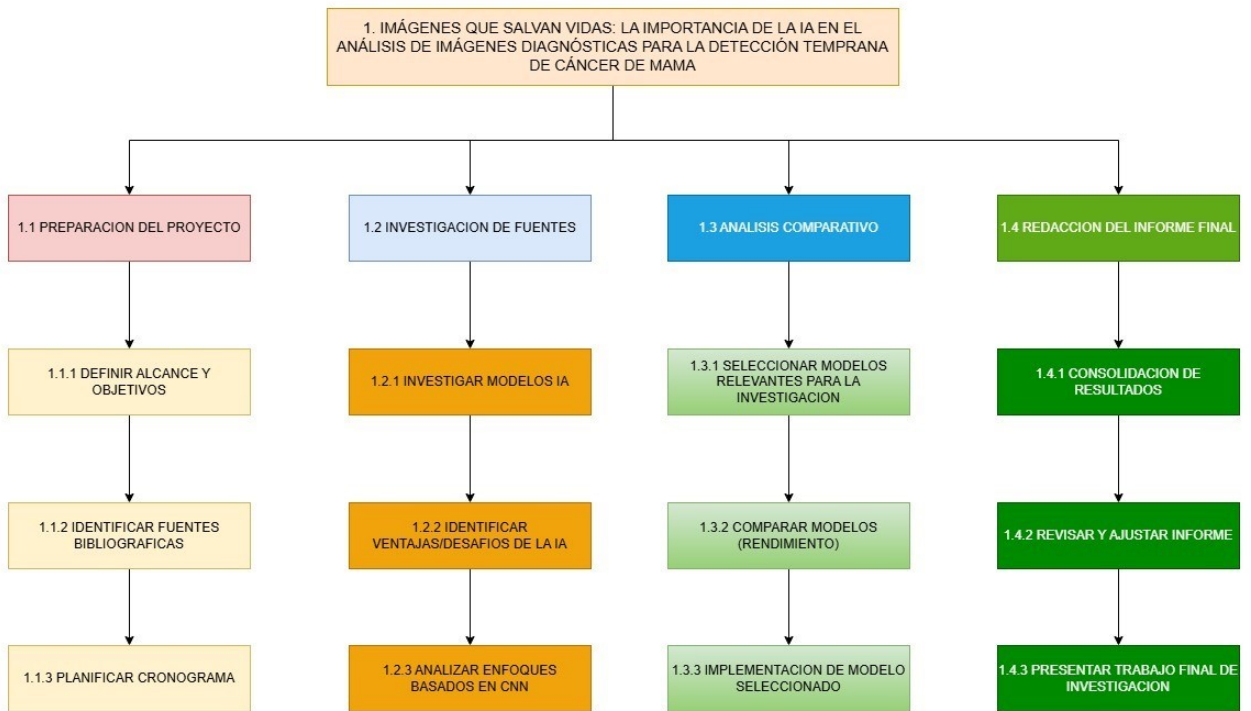


Figura 4: WBS Descomposición de las actividades

### 8.2. Tablas de actividades

El cuadro 1 muestra la de descripción de las subtareas 1 y 2.



Figura 5: Tabla de Actividades, sub tarea 1 y 2

Imágenes que salvan vidas. La importancia de la IA en el análisis de imágenes diagnosticas para detección temprana de cáncer de mama

SUBTAREA 1					
Actividad	Costo (COP)	Recursos	Tiempo (horas)	Responsable	Riesgo
Definir alcance y objetivos	\$408.000	Conceptos del proyecto	216	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	limitacion del alcance
Identificar fuentes bibliograficas	\$2.040.000	Investigacion bibliografica	120	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	Disponibilidad limitada de información relevante para la consulta
Planificar Cronograma	\$408.000	Detalle de tiempos a cumplir	24	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	Retraso en los plazos acordados.
SUBTAREA 2					
Actividad	Costo (COP)	Recursos	Tiempo (horas)	Responsable	Riesgo
Investigar modelos IA	\$5,304,000	Equipos de cómputo, software IA, acceso a bases de datos	312	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	Limitaciones de datos disponibles, riesgo de resultados inexactos debido a la calidad de los datos
Identificar Ventajas/Desafios de la IA	\$3.264.000	Artículos de investigación, expertos en IA	192	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	Falta de consenso sobre los beneficios, resistencia a la adopción tecnológica
Analizar enfoques basados en CNN	\$3.672.000	Bibliografía técnica, herramientas de procesamiento de imágenes	216	Autor 1(33.3 %) Autor 2(33.3 %) Autor 3(33.3 %)	Complejidad del modelo, alta demanda computacional, dificultades con la generalización del modelo

Tabla 1: Cuadro de detalles de las actividades de la subtarea 1

### 8.3. Diagrama de Gantt

Se relaciona a continuación en la. La figura 6 el diagrama de distribución de tiempo previsto para cada una de las actividades planteadas.

## Imágenes que salvan vidas. La importancia de la IA en el análisis de imágenes diagnosticas para detección temprana de cáncer de mama

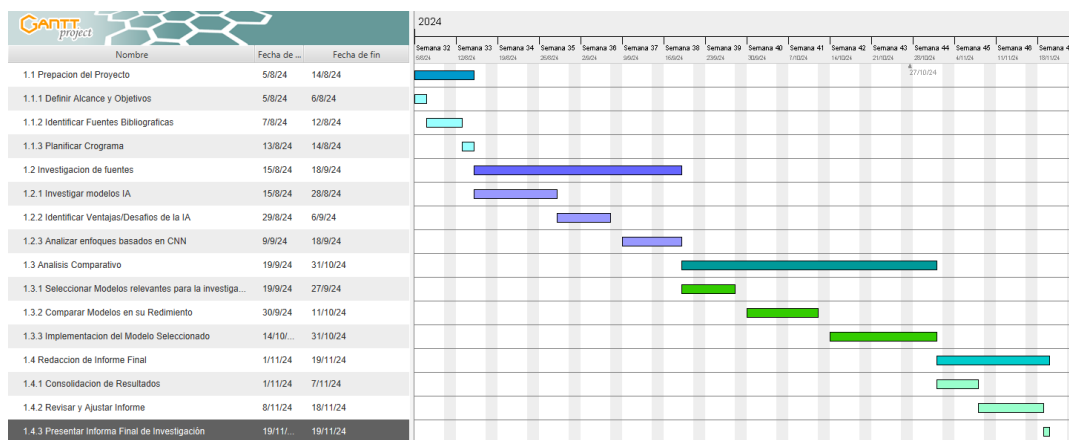


Figura 6: Diagrama de Gantt

## 9. Presupuesto

Este presupuesto refleja el tiempo y esfuerzo dedicados por los autores durante el desarrollo del trabajo "Imágenes que salvan vidas: La importancia de la IA en el análisis de imágenes diagnósticas para la detección temprana del cáncer de mama". Cabe destacar que, debido a que el proyecto no incluye el desarrollo ni la implementación práctica de la aplicación propuesta, no se considerarán costos asociados a la ejecución de la idea. Por tanto, este presupuesto se centra exclusivamente en las horas dedicadas a la investigación, la teoría, la capacitación y la elaboración del trabajo.

El cálculo se basa en una tarifa promedio de 17.000 COP por hora por estudiante, considerando las horas de trabajo conjunto y de investigación individual.

### Tiempo empleado en capacitación e investigación:

1. Teoría y capacitación: 46.5 horas.
2. Trabajo en conjunto en grupo: 20 horas.
3. Investigación individual (por estudiante): 40 horas  $\times$  3 personas = 120 horas.
4. Número de estudiantes: 3.
5. Tarifa por hora: 17.000 COP/hora.

### Cálculos por concepto:

1. Teoría y capacitación:  
 $46,5 \text{ horas} \times 17,000 \text{ COP/hora} = 790,500 \text{ COP}.$
2. Trabajo en conjunto:  
 $20 \text{ horas} \times 17,000 \text{ COP/hora} = 340,000 \text{ COP}.$
3. Investigación individual (por persona):  
 $40 \text{ horas/persona} \times 17,000 \text{ COP/hora} = 680,000 \text{ COP/persona}.$   
Para tres personas:  
 $680,000 \text{ COP/persona} \times 3 = 2,040,000 \text{ COP}.$

Presupuesto total en COP:

Presupuesto			
Ítem	Cantidad (horas)	Precio Unitario (COP)	Total (COP)
Horas de teoría y capacitación (grupo)	46.5	\$17.000	\$790.500
Horas de trabajo en conjunto (grupo)	20	\$17.000	\$340.000
Horas de investigación individual (3 estudiantes)	120	\$17.000	\$2.040.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$3.170.500</b>

Tabla 2: Presupuesto basado en horas de investigación y trabajo

Presupuesto final: El costo total estimado por el desarrollo del trabajo es de 3.170.500 COP.

## 10. Conclusiones

La investigación realizada arroja resultados interesantes, a lo largo de la misma se identificó una de las enfermedades más frecuentes y mortales en la población femenina no solo del país, sino a nivel mundial existiendo correlaciones entre los casos y las defunciones, esto tenía causas muy marcadas como los tiempos de diagnóstico e inicio de tratamiento de la enfermedad. Este hallazgo fue importante a la hora de delimitar el problema, si bien el problema macro eran los tiempos, un insumo a favor era la parte de imagenología que se realiza en el proceso de diagnóstico y por donde se podía abarcar la propuesta.

Dado esto el proceso de la lectura, interpretación, clasificación y alerta de las mamografías tanto de cribado y/o diagnostico era un punto importante en donde la solución propuesta basada en una modelo de IA que hiciera el filtrado de casos sería importante para la priorización de incidentes en la población femenina.

En la exploración de herramientas que ayudaran a un análisis mucho más exacto de las mamografías se exploró alternativas de renderizado tridimensional como los NeRFs Neural Radiance Fields (Campos de Radiancia Neuronal) técnicas que a partir de imágenes en 2D realiza un renderizado tridimensional, por un lado, era bastante positivo pues en su mayoría las mamografías existentes se toman en 2D desafortunadamente necesita diferentes tomas para hacer un renderizado mucho más exacto. Afortunadamente en el campo de radiología ya existen mamografías en 3D llamadas tomosíntesis digitales, importantes para lecturas más exactas.

Con base en lo anterior se determinó que la solución propuesta se iba a basar en modelos de deep learning y redes convolucionales CNN, elementos fundamentales para el análisis de imágenes, basados en su aprendizaje y clasificación jerárquica mediante capas. Para este proceso es fundamental aprovechar modelos que ya tengan un preentrenamiento, Kaggle es una plataforma que realiza concursos patrocinados por empresas la cual cuenta con modelos pre-entrenados que permiten tener una base inicial para tomarlos y hacer entrenamientos adicionales con diferentes datasets.

El uso de modelos pre-entrenados, junto con un enfoque en la seguridad de los datos y el cumplimiento de normativas de privacidad, asegura una solución robusta, confiable y escalable. Adicional el sistema permite priorizar los casos de mayor riesgo, reduciendo los tiempos de diagnóstico y aumentando la tasa de detección temprana.

## Referencias

- [1] S. Ruiz de Aguirre y A. Villanueva Edo, «Evolución del cáncer de mama a través de la historia,» 2000. dirección: <https://www.gacetamedicabilbao.eus/index.php/gacetamedicabilbao/article/download/614/620>.
- [2] OMS, «Crece la carga mundial de cáncer en medio de una creciente necesidad de servicios,» 2024. dirección: <https://www.who.int/es/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services>.
- [3] INC, «Cáncer en cifras 2022, Instituto nacional de Cancerología,» 2022. dirección: <https://www.cancer.gov.co/portafolio-1/salud-publica/grupos/grupo-vigilancia-epidemiologica-del-cancer/infografias-cancer-cifras-inc>.
- [4] M. Piñeros, R. Sánchez, F. Perry, O. García, R. Ocampo y R. Cendales, «Demoras en el diagnóstico y tratamiento de mujeres con cáncer de mama en Bogotá,» *Salud Pública Mex*, págs. 478-485, 2011. dirección: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/2011.v53n6/478-485>.
- [5] J. Aguilera-López y J. A. Lineros-Hurtado, «Cobertura de mamografía de tamizaje y Plan Decenal para el Control de Cáncer,» *Revista Salud Pública*, 2014. dirección: <https://www.scielosp.org>.
- [6] C. Pardo, E. de Vries, L. Buitrago y O. Gamboa, «Atlas de Mortalidad por Cáncer en Colombia 2017,» *Revista Instituto Nacional de Cancerología*, págs. 1-120, 2017. dirección: [https://www.cancer.gov.co/recursos\\_user/files/libros/archivos/ATLAS\\_de\\_Mortalidad\\_por\\_cancer\\_en\\_Colombia.pdf](https://www.cancer.gov.co/recursos_user/files/libros/archivos/ATLAS_de_Mortalidad_por_cancer_en_Colombia.pdf).
- [7] G. N. Solano A, «Retraso en el diagnóstico d cáncer de mama en mujeres que reciben tratamiento en la ciudad de Bogotá,» 2020. dirección: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/10170>.
- [8] A. Loaiza-Bonilla, «La inteligencia artificial en oncología: contexto actual y una visión hacia la próxima década,» *Revista Medicina*, págs. 1-8, 2021. dirección: <https://www.revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/1642/2125>.
- [9] S. Ayala, «Inteligencia artificial en el diagnóstico médico: un enfoque basado en aprendizaje profundo,» 2024. dirección: <https://sociencytec.com/index.php/sct/article/view/18>.
- [10] INC, «Estadísticas del cáncer,» 2024. dirección: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/naturaleza/estadisticas>.
- [11] OMS, «Cáncer de mama,» 2024. dirección: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer#:~:text=El%20c%C3%A1ncer%20de%20mama%20fue,de%20mama%20afectan%20a%20varones>.
- [12] INC, «Exámenes de detección del cáncer de seno (mama) (PDQ®)–Versión para pacientes,» 2023. dirección: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/seno/paciente/deteccion-seno-pdq#:~:text=La%20mamograf%C3%ADa%20es%20el%20examen,alto%20de%20c%C3%A1ncer%20de%20mama>.
- [13] Oncohealth, «Cribado de mama,» dirección: <https://www.oncohealth.eu/es/area-paciente/cancer/informacion-soporte-paciente/informacion-general/diagnostico/diagnostica/cribado-mama>.

- [14] INC, «Mamografías,» 2023. dirección: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/seno/hoja-informativa-mamografias#:~:text=Una%20mamograf%C3%ADa%20es%20una%20radiograf%C3%ADa,rayos%20X%20de%20cada%20mama>.
- [15] Ygeia, «Mamografía 3D o Tomosíntesis,» dirección: <http://ygeia-iatriki-apeikonisi.gr/en/examination/3d-mammography-tomosynthesis/>.
- [16] M. Gorini, «¿Cuál es la diferencia entre el machine learning y el deep learning?,» dirección: <https://blog.bismart.com/diferencia-machine-learning-deep-learning>.
- [17] F. Lubinus Badillo, C. Rueda Hernández, B. Marconi Narváez e Y. Arias Trillos, «Redes neuronales convolucionales: un modelo de Deep Learning en imágenes diagnósticas,» 2021. dirección: <https://rcr.acronline.org/index.php/rcr/article/view/161/219>.