



**Diseño de solución tecnológica de triaje médico inteligente adaptada al sistema de salud colombiano**

Juan Esteban Barragán Cutiva

Juan Felipe Valdés Martínez

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sistemas

Bogotá D.C, Colombia

18/11/2025

**Diseño de solución tecnológica de triaje médico inteligente adaptada al sistema de salud colombiano**

Juan Esteban Barragán Cutiva

Juan Felipe Valdés Martínez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero de Sistemas**

Director (a):

Marie Jose Chery Leal

Universidad Ean

Facultad de Ingeniería

Ingeniería de Sistemas

Bogotá D.C, Colombia

18/11/2025

## Resumen

El sistema de salud colombiano atraviesa una situación de presión creciente sobre los servicios de urgencias, donde la alta ocupación, los tiempos de espera prolongados y el uso inadecuado para casos no críticos terminan impactando directamente la oportunidad y la seguridad en la atención. En este contexto, el presente proyecto de grado se orienta al diseño y prototipado de una herramienta tecnológica de apoyo al triaje prehospitalario, denominada SmartTriage, que permita aportar a la priorización de pacientes desde una perspectiva alineada con la realidad nacional.

En una primera etapa se realiza un análisis de la problemática a partir de indicadores cuantitativos y evidencia cualitativa provenientes de fuentes oficiales, lo que permite identificar patrones de sobreocupación, demoras en la clasificación y una proporción importante de consultas no urgentes que llegan a urgencias. A partir de estos hallazgos se formulan criterios operativos de triaje coherentes con la Resolución 5596 de 2015 y con las particularidades del contexto colombiano, integrando no solo variables clínicas, sino también factores de riesgo y condiciones territoriales. Posteriormente, se desarrolla una comparación estructurada entre dos alternativas tecnológicas, aplicación móvil nativa y aplicación web progresiva (PWA), mediante una matriz de decisión multicriterio que considera accesibilidad, compatibilidad con dispositivos de gama baja, consumo de datos, dependencia de tiendas de aplicaciones y experiencia de usuario. Los resultados de esta evaluación respaldan la elección de una PWA como arquitectura más adecuada para poblaciones con brechas digitales y conectividad limitada.

Sobre esta base se diseña la arquitectura funcional de la solución y se construye un prototipo de interfaz en HTML, CSS y JavaScript que simula el funcionamiento de un módulo de clasificación de riesgo inspirado en modelos de aprendizaje automático documentados en la literatura. El prototipo permite registrar síntomas y datos básicos del paciente, obtener una recomendación preliminar de nivel de riesgo y visualizar centros de

atención cercanos mediante geolocalización, integrando así los componentes de apoyo a la decisión y orientación al usuario. Finalmente, se plantea un plan de implementación futura que incluye la incorporación de un back-end, la gestión ética y legal de datos clínicos reales, el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial y la validación clínica en instituciones de salud aliadas, considerando además la posible transformación del sistema de salud colombiano a partir de eventuales reformas. En conjunto, el trabajo entrega un diseño robusto y un prototipo funcional que demuestran la factibilidad técnica y conceptual de SmartTriage como herramienta de apoyo para mejorar la priorización y la gestión de la demanda en los servicios de urgencias.

**Palabras clave:** triaje, urgencias, salud digital, aprendizaje automático, aplicación web progresiva, diseño de prototipo.

### **Abstract**

The Colombian healthcare system is currently facing increasing pressure on emergency services, where high occupancy rates, prolonged waiting times and the recurrent use of emergency departments by non-urgent cases directly impact timeliness and patient safety. In this context, this undergraduate thesis focuses on the design and prototyping of a technological tool to support pre-hospital triage, called SmartTriage, aimed at contributing to patient prioritization in a way that is aligned with the Colombian reality.

The project begins with an analysis of the problem based on quantitative indicators and qualitative evidence from official sources, which makes it possible to identify patterns of overcrowding, delays in triage and a significant proportion of non-urgent visits managed in emergency departments. From these findings, operational triage criteria are derived in accordance with Resolution 5596 of 2015 and the specific characteristics of the national context, incorporating not only clinical variables but also risk factors and territorial conditions. Subsequently, a structured comparison is carried out between two technological alternatives, native mobile application and Progressive Web Application (PWA), using a multi-criteria decision matrix that considers accessibility, compatibility with low-end devices, data consumption, dependence on app stores and user experience. The results of this evaluation support the selection of a PWA as the most appropriate architecture for populations with digital gaps and limited connectivity.

On this basis, the functional architecture of the solution is designed and a front-end prototype is developed using HTML, CSS and JavaScript, simulating the behavior of a risk classification module inspired by machine learning models reported in the literature. The prototype allows users to enter basic patient data and symptoms, obtain a preliminary risk recommendation and visualize nearby healthcare facilities through geolocation, thus integrating decision-support and orientation components. Finally, a future implementation

roadmap is proposed, which includes back-end development, ethical and legal management of real clinical data, training of artificial intelligence models and clinical validation in allied healthcare institutions, while also considering potential changes derived from an eventual healthcare reform in Colombia. Overall, the work delivers a solid design and a functional prototype that demonstrate the technical and conceptual feasibility of SmartTriage as a support tool to improve prioritization and demand management in emergency services.

**Keywords:** triage, emergency care, digital health, machine learning, progressive web application, prototype design.

## Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>Definición del problema .....</b>	<b>16</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>18</b>
<b>Análisis de Requerimientos .....</b>	<b>20</b>
<i>Requerimientos funcionales .....</i>	<i>20</i>
Registro estructurado de datos clínicos básicos .....	20
Clasificación preliminar del riesgo.....	21
Presentación de recomendaciones de atención.....	21
Módulo de geolocalización de centros de atención .....	22
Gestión básica de usuarios y perfiles.....	23
Explicación básica de la decisión (transparencia) .....	23
<i>Requerimientos no Funcionales .....</i>	<i>24</i>
Usabilidad y simplicidad cognitiva.....	24
Compatibilidad y multiplataforma .....	25
Seguridad y confidencialidad básica de la información .....	25
Verificación de parámetros de diseño .....	25
Tratamiento de datos personales y sensibles .....	26
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>26</b>
<i>Salud digital y mHealth.....</i>	<i>26</i>
Concepto y evolución de la salud digital .....	26

Aplicaciones móviles en salud (mHealth).....	27
<i>Contexto del sistema de salud colombiano.....</i>	<i>27</i>
Problemática de saturación en urgencias .....	28
<i>Retos en regiones apartadas y rurales.....</i>	<i>29</i>
<i>El triaje médico.....</i>	<i>29</i>
Importancia del triaje en el contexto colombiano.....	29
Consecuencias de un triaje ineficiente.....	30
<i>Inteligencia Artificial y Machine Learning (ML) en salud .....</i>	<i>31</i>
Fundamentos del ML aplicado a medicina .....	31
Modelos predictivos aplicados al triaje.....	32
Riesgos y limitaciones .....	33
<i>El paciente como usuario final.....</i>	<i>33</i>
Usabilidad y accesibilidad.....	33
Retroalimentación del paciente y mejora continua .....	34
<b>Análisis de restricciones.....</b>	<b>34</b>
<i>Restricciones Legales y Normativas.....</i>	<i>34</i>
Cumplimiento de la Resolución 5596 de 2015 que define los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage" .....	34
Protección de datos personales - Ley 1581 de 2012 .....	34
<i>Restricciones Técnicas e Infraestructurales .....</i>	<i>35</i>
Limitaciones de hardware en dispositivos.....	35
Tiempo de respuesta del sistema .....	35

Interoperabilidad con sistemas hospitalarios.....	35
<i>Restricciones Económicas y Financieras</i> .....	36
Costos de desarrollo.....	36
Mantenimiento y actualización continua.....	36
Costos asociados a seguridad de datos.....	37
<i>Restricciones Socioculturales</i> .....	37
Baja alfabetización digital en algunos usuarios .....	37
<i>Restricciones Éticas y de Seguridad en Salud</i> .....	38
Cambios normativos y reforma del sistema de salud .....	38
Sesgos en los algoritmos de <i>machine learning</i> .....	39
Riesgo de errores críticos en triaje.....	39
<b>Metodología para la selección y desarrollo de solución.....</b>	<b>40</b>
<i>Análisis y Establecimiento de Criterios Nacionales</i> .....	40
<i>Selección y Evaluación de la Herramienta Tecnológica</i> .....	42
<i>Diseño y Prototipado detallado</i> .....	43
Arquitectura funcional .....	44
Prototipado de Interfaz de Usuario (UI) mediante Figma .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Resultados</b> .....	<b>46</b>
<i>Análisis y Establecimiento de Criterios Nacionales</i> .....	46
<i>Selección de la Herramienta Tecnológica</i> .....	48
<i>Diseño y Desarrollo del Prototipo Funcional</i> .....	52
Visualización Arquitectura funcional del prototipo .....	52

Prototipo de Interfaz ( <i>Mockups</i> ) .....	53
Dashboard .....	54
Nuevo Triaje (formulario de evaluación).....	55
Resultados IA .....	56
Mi Perfil.....	57
Puntos Cercanos .....	58
<b>Análisis de costos .....</b>	<b>59</b>
<i>Costos para brindar el servicio</i> .....	59
Costos directos (Variables).....	59
Costos Fijos.....	60
Gastos Generales.....	61
Resumen mensual de operación .....	61
<i>Inversión inicial del proyecto</i> .....	62
Costos directos de inversión .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Costos indirectos de inversión .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Capital de Trabajo .....	63
<i>Resumen general del proyecto a gran escala</i> .....	64
<i>Consideraciones Finales</i> .....	65
<b>Plan de Implementación a futuro .....</b>	<b>65</b>
<i>Permisos y alianzas básicas (3–4 meses)</i> .....	65
Presentar el proyecto a comités de ética .....	65
Ajustar el proyecto a las normas.....	66
Buscar una alianza con una IPS/EPS .....	66

<i>Fase 2. Conseguir y ordenar los datos (4–6 meses)</i> .....	66
Definir qué datos necesito .....	66
Pedir los datos históricos .....	67
Limpiar y ordenar la base .....	67
<i>Fase 3. Agregar un back-end sencillo (4–6 meses)</i> .....	67
Definir una arquitectura simple .....	67
Crear una pequeña base de datos.....	67
Implementar reglas básicas de triaje.....	68
Seguridad básica .....	68
<i>Fase 4. Analítica y primera versión de IA (6–9 meses)</i> .....	68
Analizar los datos (sin IA todavía).....	68
Probar modelos sencillos de predicción.....	68
Conectar el modelo con la herramienta .....	69
Registrar y revisar el comportamiento del modelo .....	69
<b>Conclusiones</b> .....	<b>70</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>73</b>

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Porcentaje de ocupación de los servicios de urgencias en las instituciones adscritas a la red pública de Bogotá D.C.</i> .....	<b>28</b>
<b>Figura 2.</b> <i>Diagrama de Arquitectura funcional del prototipo</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 3.</b> <i>Arquitectura de archivos de SmartTriage</i> .....	<b>52</b>
<b>Figura 4.</b> <i>Pantalla - Dashboard</i> .....	<b>54</b>
<b>Figura 5.</b> <i>Pantalla – Nuevo Triage</i> .....	<b>55</b>
<b>Figura 6.</b> <i>Pantalla – Resultados IA</i> .....	<b>56</b>
<b>Figura 7.</b> <i>Pantalla – Mi Perfil</i> .....	<b>57</b>
<b>Figura 8.</b> <i>Pantalla – Puntos Cercanos</i> .....	<b>58</b>

## Lista de Tablas

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Definición preliminar de criterios de triaje para el prototipo</i> .....	41
<b>Tabla 2.</b> <i>Actividades para seleccionar y evaluar las herramientas tecnológicas disponibles para el diseño.</i> .....	42
<b>Tabla 3.</b> <i>Actividades para realizar el diseño de la arquitectura y el prototipado.</i> .....	44
<b>Tabla 4.</b> <i>Evaluación comparativa de plataformas</i> .....	48
<b>Tabla 5.</b> <i>Costos directos propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano</i> .....	59
<b>Tabla 6.</b> <i>Costos fijos propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano</i> .....	60
<b>Tabla 7.</b> <i>Gastos generales propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano</i> .....	61
<b>Tabla 8.</b> <i>Tabla general la cual muestra el resumen mensual que llevaría a cabo el proyecto</i> .....	62
<b>Tabla 9.</b> <i>Inversión inicial con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano</i> .....	62
<b>Tabla 10.</b> <i>Capital de trabajo a otorgar junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano</i> .....	64

**Tabla 11.** *Resumen total de la operación general del proyecto, en esta se muestra el gasto total general estimado, recopilado de las anteriores operaciones presentadas.....64*

## Introducción

En Colombia, el sistema de salud atraviesa una emergencia estructural centrada en la saturación de los servicios de urgencias, lo que amenaza tanto la calidad como la oportunidad de atención médica. Según datos del Observatorio de Salud de Bogotá, la ocupación promedio de urgencias alcanzó 109,1% en diciembre de 2024 y escaló al 126,3% en marzo de 2025, superando de manera considerable el estándar recomendado que es del 95% (Secretaría Distrital de Salud, 2025). Esta situación, no se limita únicamente a la capital del país: La Asociación Colombiana de Especialistas en Medicina de Urgencias (ACEM) alerta que en varias regiones las IPS operan a más del 200% de su capacidad, lo que ha llevado a cierres temporales de estos servicios (Moreno, 2025). En municipios como Ibagué, los niveles de ocupación han alcanzado el 200% y en el Valle del Cauca, incluso hasta el 600% (Acosta Villada, 2025).

La Defensoría del Pueblo, a través de una visita a 170 hospitales realizada en el año 2019, reportó una ocupación nacional promedio del 142% con tiempos de espera en triaje de hasta nueve horas, lo que representa una violación al derecho fundamental a la salud (Suárez, 2020a). Esta urgencia estructural agrava porque solo el 70% de los casos atendidos en urgencias son verdaderamente urgentes, mientras que el restante podría haberse atendido adecuadamente en otros niveles del sistema (Suárez, 2020a).

En el plano normativo y de monitoreo existen marcos y herramientas que orientan la priorización clínica; la Resolución 5596 de 2015 establece cinco niveles de triaje con tiempos máximos de atención, y sistemas de información sanitaria como SISPRO/PISIS que permiten generar indicadores de desempeño en urgencias (Asprilla, 2023; Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Sin embargo, la implementación efectiva de estos instrumentos se ve limitada por factores operativos como dependencia de procesos manuales, variabilidad en la capacitación del personal de triaje, y falta de herramientas

digitales integradas que permitan un filtrado prehospitalario consistente. Al mismo tiempo, la estrategia nacional de transformación digital ha impulsado iniciativas de interoperabilidad y la incorporación paulatina de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en salud, lo que hace que se generen soluciones que integren datos clínicos, procesos normativos y criterios operativos (Dorado, 2024).

En este contexto, el presente estudio se incluye en la línea de investigación de Transformación Digital de Servicios de Salud y plantea el diseño de prototipado de una aplicación web de triaje médico inteligente. Esta herramienta integra los criterios normativos de la Resolución 5596 de 2015 con modelos de *machine learning* capaces de apoyar la priorización clínica en escenarios de alta demanda. La propuesta busca optimizar la clasificación inicial de los pacientes y orientar de manera ágil hacia los centros de salud disponibles, incorporando funcionalidades como el registro rápido de síntomas y la geolocalización de los centros médicos más cercanos. En cuanto al componente predictivo, se toman como referencia hallazgos de (Raita et al., 2019), quienes evaluaron diferentes algoritmos de aprendizaje automático (Lasso, *Random Forest*, *Gradient Boosted Trees* y redes neuronales profundas) aplicados a datos de rutina de triaje para predecir la hospitalización y necesidad de cuidados críticos. Estos modelos, validados mediante métricas robustas como el área bajo la curva (AUC) y el análisis de curva de decisión (*decision curve analysis*) constituyen la base metodológica que guía la adaptación del sistema propuesto al contexto colombiano.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar el prototipo de una solución tecnológica para el triaje médico inteligente, basada en algoritmos de análisis de síntomas y protocolos de priorización adaptados al contexto colombiano, con el fin de optimizar la asignación en servicios de salud y contribuir a la reducción de los tiempos de espera en casos urgentes.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la problemática de priorización y tiempos de espera en el sistema de salud colombiano, mediante la revisión de datos oficiales para establecer criterios de triaje acordes a la realidad nacional.
- Seleccionar una herramienta tecnológica adecuada para la solución, considerando criterios de accesibilidad, usabilidad y compatibilidad.
- Desarrollar la arquitectura funcional y la interfaz de usuario de la aplicación, incorporando principios de usabilidad, accesibilidad y geolocalización, con el fin de facilitar el registro rápido de síntomas y la orientación hacia centros médicos cercanos.

### **Definición del problema**

En Colombia, el sistema de urgencias enfrenta una crisis de saturación y sobreocupación que compromete la oportunidad y calidad de la atención. En ciudades como Bogotá, la ocupación de los servicios de urgencias ha superado en repetidas ocasiones el 100%, alcanzando niveles de hasta 126,3% en marzo de 2025, muy por encima del estándar recomendado de 95% (Secretaría Distrital de Salud, 2025). Esta situación no solamente ocurre en Bogotá, en diferentes regiones, la sobrecarga llega a superar el 200%, lo que ha obligado al cierre de forma temporal de servicios en clínicas y hospitales (Moreno, 2025).

Una de las causas que más son relevantes de esta congestión es porque existe un alto número de atenciones clasificadas como no urgentes que ingresan al sistema. Esta realidad hace que se retrase la atención de casos prioritarios y pone en riesgo la vida de pacientes con condiciones críticas (Suárez, 2020).

En el marco normativo colombiano, establecido en la Resolución 5596 de 2015, define un protocolo obligatorio de triaje con cinco niveles de prioridad clínica que orienta los tiempos máximos de espera según la urgencia que exista (Ministerio de salud y protección social, 2015). Sin embargo, en la práctica, los tiempos que más se incumplen son: para paciente de Triage II, cuyo tiempo máximo permitido es de 30 minutos, el promedio nacional reportado fue de 26.36 minutos, aunque con variaciones significativas que superan los límites en varios departamentos del país (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).

La ausencia de herramientas tecnológicas que integren el análisis automatizado de síntomas, priorización clínica y geolocalización de servicios limita la capacidad de respuesta del sistema, especialmente en áreas rurales o con baja

disponibilidad de personal especializado. El desarrollo de soluciones basadas en algoritmos de *machine learning* representa una alternativa viable para optimizar la clasificación inicial de pacientes, reducir los tiempos de espera y mejorar la asignación de recursos, contribuyendo así a mitigar la crisis actual.

En este contexto, el presente proyecto plantea el diseño y prototipado de una herramienta tecnológica de triaje médico inteligente, que combine protocolos normativos con modelos de *machine learning* (*Lasso*, *Random Forest Boosted Trees* y redes neuronales profundas), previamente validados en otros estudios internacionales (Raita et al., 2019). La finalidad es ofrecer un sistema accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet, que facilite el registro rápido de síntomas, que brinde una recomendación sobre la urgencia de atención y que oriente al usuario hacia centros médicos cercanos.

**Todo esto se resume en la pregunta de investigación:** ¿Cómo diseñar y prototipar una herramienta tecnológica de triaje médico inteligente, basada en algoritmos de análisis de síntomas y en los protocolos de priorización del sistema de salud colombiano, que sienta las bases para optimizar la asignación de atención y reducir los tiempos de espera en casos urgentes?

## Justificación

En el contexto actual del sistema de salud colombiano, la saturación de los servicios de urgencias constituye una problemática crítica que impacta la calidad, oportunidad y eficacia de la atención médica. Las cifras oficiales reportan que, en ciudades como Bogotá, la ocupación de los servicios de urgencias ha alcanzado niveles de hasta 126,3% en marzo de 2025 (Secretaría Distrital de Salud, 2025), mientras que en otras regiones esta cifra supera el 200%, ocasionando así posibles cierres temporales de servicios (Moreno, 2025). Esta sobrecarga, en gran medida, se debe a la alta proporción de consultas clasificadas como no urgentes ingresadas al sistema, lo que hace que se retrase la atención de pacientes en condición crítica y eleva el riesgo de desenlaces adversos.(Suárez, 2020).

La relevancia social de este proyecto radica en que propone el diseño de una aplicación móvil de triaje médico inteligente que integre algoritmos de *machine learning* con los protocolos de priorización establecidos por el Ministerio de Salud y Protección Social, específicamente la Resolución 5596 de 2015. Esta herramienta no solo permitiría clasificar de manera más precisa y rápida a los pacientes según la urgencia de sus síntomas, sino que también facilitaría su orientación hacia centros médicos cercanos mediante geolocalización, optimizando así la asignación de recursos y reduciendo tiempos de espera.

Desde el punto de vista económico y de tendencias del sector salud, la transformación digital en la atención médica es una prioridad global. La telemedicina y el triaje digital han demostrado, en estudios internacionales, su capacidad de disminuir la presión sobre los servicios presenciales y mejorar la eficiencia operativa (Casco et al., 2022; Takita et al., 2025). El diseño de una solución tecnológica de este tipo podría

generar un impacto empresarial positivo generando mejora en los procesos organizacionales en clínicas y hospitales junto a la optimización de la gestión de flujos de pacientes y la reducción de costos asociados a la atención de casos no urgentes. (Suárez, 2020).

Este estudio se enmarca en el campo de Ciencia, tecnología e innovación, dentro del grupo de investigación en GIS - GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD, y se alinea con la línea de investigación de Gestión en Salud. Su desarrollo corresponde no solo a la necesidad urgente del sistema de salud colombiano, sino también a la oportunidad de generar un aporte significativo en la convergencia entre tecnología, medicina y gestión de servicios sanitarios.

## **Análisis de Requerimientos**

La aplicación móvil de triaje médico inteligente tiene como propósito optimizar la clasificación inicial de pacientes que requieren atención en los servicios de urgencias del sistema de salud colombiano, reduciendo los tiempos de espera en casos urgentes y mejorando la asignación de recursos.

Los requerimientos se formulan como especificaciones para un prototipo y para versiones futuras, sin asumir que todas las funcionalidades están implementadas en un producto final. Es decir, el entregable central es el diseño detallado y la especificación de estas capacidades, más que el desarrollo completo de un sistema en producción.

### **Requerimientos funcionales**

Los requerimientos funcionales describen las acciones que el sistema debe ser capaz de realizar desde el punto de vista del usuario y del contexto clínico.

### **Registro estructurado de datos clínicos básicos**

La solución deberá permitir el registro estructurado de información mínima del episodio de salud: edad, sexo, motivo de consulta, síntomas principales, tiempo de evolución y antecedentes relevantes.

**Finalidad:** disponer de insumos clínicos coherentes con los criterios de triaje nacionales y con la literatura de triaje automatizado.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula con el Objetivo Específico 1, porque el registro estructurado de edad, motivo de consulta, síntomas y antecedentes es la base para aplicar de forma consistente los criterios de triaje definidos en la Resolución 5596 de 2015.

A su vez, se vincula con el Objetivo Específico 3, porque este formulario de datos clínicos es el primer paso del flujo funcional de triaje sobre el cual se diseña la arquitectura de la solución (captura de datos → clasificación automatizada → priorización de atención).

### **Clasificación preliminar del riesgo**

En la fase de diseño, el sistema debe contemplar un módulo de clasificación preliminar del riesgo, que transforme los datos capturados en una recomendación de nivel de prioridad alineado con los cinco niveles.

**Finalidad:** asegurar que la lógica de la herramienta respete los tiempos y niveles de triaje definidos en la normativa, aunque en esta etapa solo se modele a nivel conceptual y de prototipo.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula directamente con el Objetivo Específico 1, ya que el módulo de clasificación preliminar del riesgo es justamente la traducción práctica de la Resolución 5596 de 2015 a una lógica operativa dentro del sistema. Aunque la solución esté en fase conceptual, este módulo garantiza que el diseño respete los niveles y tiempos orientativos de atención definidos por la normativa.

### **Presentación de recomendaciones de atención**

El diseño de la solución deberá incluir pantallas donde, a partir del nivel de riesgo, se muestre una recomendación comprensible para el usuario: acudir inmediatamente a urgencias, buscar consulta prioritaria en pocas horas, gestionar cita programada o utilizar tele orientación. A su vez, esto se realiza con la finalidad de que el usuario se afiance con el uso de la aplicación, en ningún momento se exime al usuario de buscar atención

medica profesional ya que esta nunca reemplazara el veredicto de un profesional optimo capaz de mirar las distintas vistas del panorama y problema

**Finalidad:** traducir el resultado técnico de triaje en acciones claras para el paciente o el personal de salud.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula de manera directa con el Objetivo Específico 3, porque la presentación de recomendaciones de atención convierte el resultado técnico del nivel de riesgo en indicaciones claras y accionables para el paciente o el personal de salud (por ejemplo: acudir de inmediato a urgencias, solicitar una consulta prioritaria, programar cita o usar tele orientación). En términos funcionales, estas pantallas representan la salida visible del flujo de triaje dentro de la arquitectura propuesta, ya que orientan al usuario hacia el tipo de servicio más adecuado según la prioridad estimada canalizando la demanda de atención hacia el recurso correcto, alineándose con el objetivo de optimizar el uso de los servicios de salud.

### **Módulo de geolocalización de centros de atención**

El prototipo debe contemplar un módulo que permita visualizar los centros médicos cercanos, integrando un mapa con marcadores de IPS, su dirección, teléfono y ruta básica de llegada.

**Finalidad:** reducir tiempos de desplazamiento y la incertidumbre del paciente sobre adónde acudir.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula directamente con el Objetivo Específico 3, porque el módulo de geolocalización complementa el flujo de triaje al orientar al paciente hacia los centros de atención más adecuados y cercanos.

### **Gestión básica de usuarios y perfiles**

El diseño de la solución debe contemplar la existencia de perfiles diferenciados.

**Finalidad:** garantizar que el sistema pueda, en una versión futura, personalizar la experiencia y restringir funciones según el tipo de usuario.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula con el Objetivo Específico 2 porque al contemplar, desde el diseño, la existencia de distintos tipos de usuario (paciente, profesional de salud, administrador, etc.), se asegura que la herramienta seleccionada pueda evolucionar hacia un sistema más robusto, con funciones y vistas ajustadas al rol.

Asimismo, este requerimiento se relaciona con el Objetivo Específico 3, ya que la gestión de usuarios y perfiles se concibe como un módulo transversal dentro de la arquitectura funcional. Permite estructurar el sistema en componentes (triaje, geolocalización, reportes, administración) cuyas funcionalidades puedan ser habilitadas o restringidas según el perfil.

### **Explicación básica de la decisión (transparencia)**

El diseño prevé un módulo que muestre de forma sencilla qué variables influyen más en la clasificación de riesgo, por ejemplo, mediante mensajes explicativos.

**Finalidad:** fomentar confianza y transparencia de cara al paciente y al profesional de salud.

**Vinculación:** Este requerimiento se vincula con el Objetivo Específico 1 porque el módulo de explicación básica hace explícitos los criterios que influyen en la clasificación de riesgo. Al mostrar, mediante mensajes sencillos, qué variables actúan (síntomas, tiempo de evolución, signos de alarma, etc.) reforzando la claridad sobre cómo se interpretan los criterios de la Resolución 5596 de 2015 dentro del sistema.

A la vez, este requerimiento se relaciona con el Objetivo Específico 3 porque la explicación de la decisión forma parte del diseño de la interfaz de usuario orientada al

flujo de triaje. Incluir mensajes explicativos integrados en las pantallas de resultado contribuye a que la interfaz no sea solo un visor de un nivel de riesgo, sino una herramienta informativa y pedagógica que apoya al paciente y al profesional de salud, fortaleciendo la transparencia y la confianza en la solución propuesta.

### **Requerimientos no Funcionales**

Los requerimientos no funcionales establecen cómo debe comportarse la solución en términos de calidad, experiencia de uso y contexto tecnológico, coherentes con el enfoque de accesibilidad y usabilidad.

#### **Usabilidad y simplicidad cognitiva**

La interfaz estará diseñada para que un usuario promedio, con diferentes niveles de alfabetización digital pueda completar un triaje en un tiempo objetivo menor o igual a 2 minutos, siguiendo un flujo claro y lineal.

**Relación:** Este requerimiento se relaciona con el Objetivo Específico 2 porque establece que la herramienta seleccionada debe permitir observar una interfaz simple, guiada y de baja carga cognitiva, de forma que un usuario promedio, incluso con alfabetización digital limitada, pueda completar el triaje.

Asimismo, se vincula con el Objetivo Específico 3, dado que la usabilidad condiciona el diseño del flujo funcional de triaje: pantallas secuenciales, pasos reducidos, mensajes comprensibles y validaciones mínimas necesarias.

### **Compatibilidad y multiplataforma**

La solución se concibe como aplicación progresiva compatible con navegadores modernos en dispositivos móviles y de escritorio, incluyendo equipos de gama media-baja y conectividad limitada.

**Relación:** Este requerimiento se vincula directamente con el Objetivo Específico 2, implica optar por tecnologías que aseguren compatibilidad, rendimiento aceptable y acceso amplio. De esta manera, la selección tecnológica no solo responde a criterios técnicos, sino también a la necesidad de disponibilidad y alcance en contextos reales del sistema de salud colombiano.

### **Seguridad y confidencialidad básica de la información**

Desde el diseño se especifica que, en versiones futuras, el sistema debe implementar esquemas de autenticación segura y cifrado del manejo de datos sensibles en salud.

**Relación:** Este requerimiento se relaciona con el Objetivo Específico 3 porque se deberá manejar los datos clínicos con confidencialidad y controles de acceso adecuados asegurando que el almacenamiento y la visualización de información se diseñen pensando en la minimización de riesgos, la trazabilidad y el cumplimiento normativo.

### **Verificación de parámetros de diseño**

Los parámetros clave para el desarrollo incluyen Implementación y validación de modelos de *machine learning* futuros siguiendo la metodología descrita por (Raita et al., 2019b), priorizando aquellos con mejor desempeño en métricas como área bajo la curva (AUC) y análisis de curva de decisión (*decisión curve analysis*).

### **Tratamiento de datos personales y sensibles**

El análisis de requerimientos establece que la herramienta solo solicitará los datos estrictamente necesarios para el proceso de triaje; además, en futuras implementaciones deberán incorporarse mecanismos claros de consentimiento informado y política de privacidad.

## **Marco Teórico**

### **Salud digital y *mHealth***

La salud digital y el *mHealth* representan la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en los servicios sanitarios con el objetivo de mejorar la prevención, el diagnóstico, el tratamiento y el seguimiento de enfermedades

### **Concepto y evolución de la salud digital**

En los últimos años, la digitalización de los servicios de salud ha redefinido las dinámicas de atención, impulsada por el crecimiento de las tecnologías de información y comunicación y la masificación de dispositivos móviles (Alarcón Belmonte et al., 2024a). El concepto de salud digital (*digital health*) se ha consolidado como un eje estratégico de los sistemas sanitarios contemporáneos, integrando herramientas como la telemedicina, el triaje digital, las historias clínicas electrónicas y las aplicaciones móviles de salud (*mHealth*) (Alarcón Belmonte et al., 2024b).

En América Latina, los sistemas de salud enfrentan retos como la insuficiencia de personal médico, la saturación de servicios de urgencias y la desigualdad en el acceso a la atención principalmente en las zonas rurales las cuales enfrentan un sinnúmero de brechas y problemáticas para ejecutarse de manera satisfactoria (Ferreira Bouza et al., 2025). En este contexto, la salud digital ha demostrado ser una alternativa viable para ampliar la cobertura, reducir tiempos de espera y optimizar la utilización de recursos hospitalarios.

Según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (2021), más del 70% de los países de la región han iniciado proyectos piloto de telemedicina, y un 40% explora el uso de aplicaciones móviles como estrategia para gestionar la demanda en urgencias.

### **Aplicaciones móviles en salud (mHealth)**

De manera particular, las aplicaciones móviles de salud han tenido un crecimiento exponencial. El uso de APPS móviles en salud ofrece un sinfín de ventajas como la capacidad de transmitir información en tiempo real, la posibilidad de acceso a guías de manejo que permita orientar las decisiones clínicas y la posibilidad de personalización del contenido, también permite el acceso a un gran número de personas en un solo momento, lo cual agiliza los procesos que se ven represados, lo cual es importante para que la atención en el ámbito de la salud sea eficaz, rápida y fácil. Sin embargo, su integración en los sistemas sanitarios formales aún es limitada, especialmente en contextos donde la normatividad, la seguridad de los datos y la alfabetización digital de la población representan desafíos (Saperas Pérez et al., 2025).

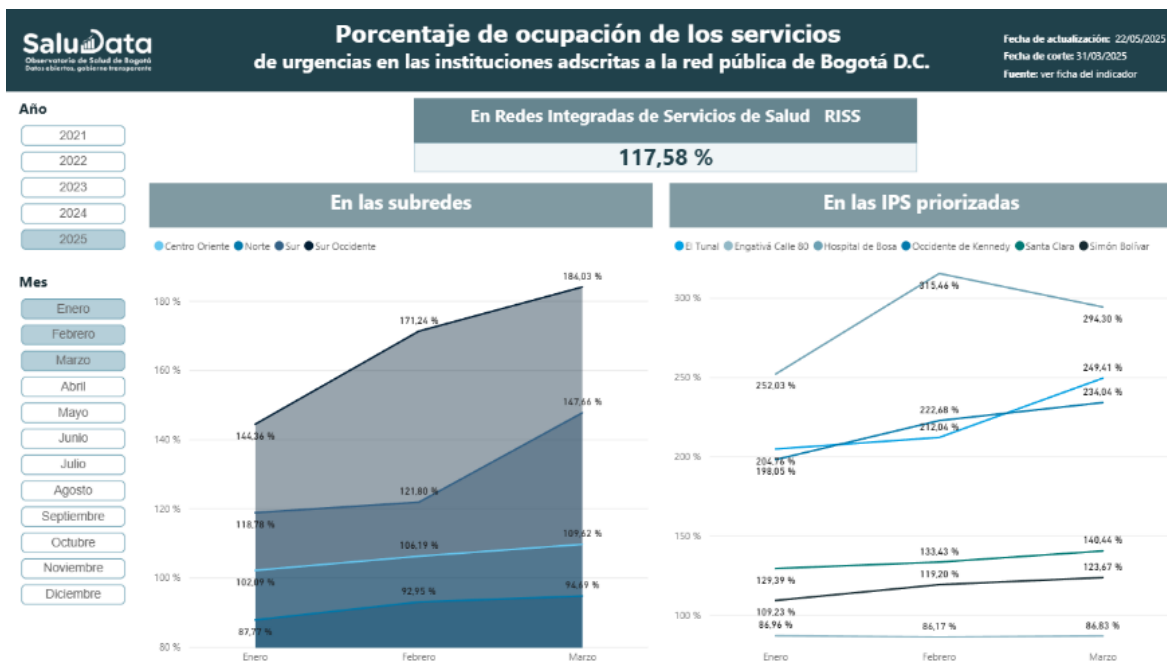
### **Contexto del sistema de salud colombiano**

El sistema de salud colombiano se estructura bajo un modelo de aseguramiento establecido por la Ley 100 de 1993, el cual organiza la prestación de servicios a través de los regímenes contributivo y subsidiado, garantizando la cobertura a la mayoría de la población. Este sistema integra entidades promotoras de salud (EPS), instituciones prestadoras de servicios (IPS) y entes reguladores, buscando asegurar el acceso, la calidad y la eficiencia en la atención. No obstante, enfrenta desafíos relacionados con la sostenibilidad financiera, la equidad en el acceso y la oportunidad en la prestación de los servicios, especialmente en zonas rurales y poblaciones vulnerables

### Problemática de saturación en urgencias

El sistema de salud colombiano, organizado bajo un modelo de aseguramiento mixto, enfrenta desde hace varios años un problema estructural: la saturación de los servicios de urgencias. Datos de la Defensoría del Pueblo (2020) evidencian que en la ciudad de Bogotá las redes integradas de servicios de salud alcanzaron un porcentaje de ocupación cercano al 117,58%, con tiempos de espera de hasta nueve horas en el proceso de clasificación. A su vez reportó una ocupación del 126,3% en marzo del año 2025, superando ampliamente el estándar internacional recomendado del 95%. En la figura 1 se muestra el porcentaje de ocupación de los servicios de urgencias en las instituciones de la red pública de Bogotá, D.C en marzo de 2025.

**Figura 1. Porcentaje de ocupación de los servicios de urgencias en las instituciones adscritas a la red pública de Bogotá D.C**



Nota. Porcentaje de ocupación en el primer trimestre de 2025

Fuente: (Secretaría Distrital de Salud, 2025)

## **Retos en regiones apartadas y rurales**

En Colombia, la crisis de saturación de los servicios de urgencias se intensifica en las regiones rurales y apartadas, donde las brechas de acceso a la salud son aún más evidentes. Estas zonas enfrentan múltiples limitaciones: la escasez de especialistas, la falta de infraestructura hospitalaria de alta complejidad y la reducida capacidad de los centros de atención primaria para responder a emergencias (*Radiografía de La Salud Rural En Colombia: El 37,3% de Los Hospitales Públicos En Están En Riesgo Financiero*, n.d.). De acuerdo con Ferreira Bouza et al. (2025), la telemedicina ha sido planteada como alternativa para disminuir estas desigualdades, sin embargo, la cobertura tecnológica y la conectividad siguen siendo insuficientes para garantizar un servicio continuo y confiable.

### **El triaje médico**

#### **Importancia del triaje en el contexto colombiano**

El triaje médico surge como solución para el seguimiento de esta parametrización correcta de los usuarios, este proceso de clasificación de pacientes se da en los servicios de urgencias según la gravedad de sus síntomas y la urgencia requerida para su atención (Liu et al., 2025) . Se trata de un procedimiento crítico que garantiza la priorización de recursos en contextos de alta demanda, evitando que los casos leves retrasen la atención de pacientes en estado crítico.

En Colombia, el marco normativo vigente está definido en la Resolución 5596 de 2015, (MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL, n.d.) que establece un protocolo obligatorio de cinco niveles: La Resolución 5596 de 2015 establece cinco niveles de triaje: el Nivel I corresponde a atención inmediata, dirigida a pacientes con riesgo vital que requieren intervención urgente; el Nivel II exige atención en un máximo

de 30 minutos, para casos muy urgentes con alta probabilidad de deterioro; el Nivel III contempla atención en un máximo de 2 horas, orientado a pacientes urgentes que necesitan valoración oportuna pero sin compromiso vital inminente; el Nivel IV fija atención en un máximo de 4 horas, para problemas menos urgentes que permiten cierta espera; y el Nivel V corresponde a atención diferida hasta 24 horas, reservado para situaciones no urgentes que pueden resolverse mediante cita programada u otros servicios de baja complejidad.

No obstante, un informe reciente indica que los tiempos de respuesta estipulados en la normativa rara vez se cumplen, especialmente en los niveles II y III, donde el promedio nacional supera con frecuencia las dos horas (El tiempo, 2020). Esto evidencia la necesidad de herramientas tecnológicas que apoyen la correcta aplicación de los protocolos de triaje y reduzcan la variabilidad en la clasificación clínica.

### **Consecuencias de un triaje ineficiente**

Un triaje ineficiente o mal ejecutado puede tener consecuencias críticas para el sistema de salud y, sobre todo, para la vida de los pacientes. En primer lugar, cuando no se identifican de manera adecuada los casos graves, los pacientes en condición crítica sufren retrasos en su atención, lo que aumenta el riesgo de complicaciones severas, secuelas permanentes e incluso desenlaces fatales que habrían podido evitarse con una clasificación oportuna. Esta falla en la priorización también genera que los servicios de urgencias se saturen innecesariamente, pues pacientes con síntomas leves terminan ocupando espacios, tiempo del personal y recursos que deberían destinarse a emergencias reales (Bahl, 2024).

De igual manera, el mal funcionamiento del triaje aumenta la carga de trabajo y el nivel de estrés en el personal de salud. Los médicos y enfermeras deben enfrentar situaciones de desorganización, lo que incrementa la probabilidad de cometer errores y

contribuye al agotamiento profesional (Müller, 2020). Finalmente, cuando los usuarios perciben demoras injustificadas, negligencia o desorden en la atención, la confianza en el sistema de salud se deteriora. Esto no solo afecta la imagen institucional, sino que además genera que más personas acudan de manera preventiva o innecesaria a los servicios de urgencias, lo cual intensifica aún más la saturación del sistema.

### **Inteligencia Artificial y *Machine Learning* (ML) en salud**

La Inteligencia Artificial (IA) y el Machine Learning (ML) en salud se refieren al uso de algoritmos y modelos computacionales capaces de analizar grandes volúmenes de datos clínicos para apoyar la toma de decisiones médicas. Estas tecnologías permiten identificar patrones, predecir riesgos, optimizar diagnósticos y personalizar tratamientos, contribuyendo a una atención más precisa y eficiente

#### **Fundamentos del ML aplicado a medicina**

La inteligencia artificial ha logrado gran relevancia en la atención médica, especialmente en tareas de diagnóstico asistido, predicción de riesgo clínico y apoyo a decisiones médicas (Cunha Reis, 2025). Dentro de la IA, el machine learning (ML) permite entrenar modelos predictivos a partir de grandes volúmenes de datos clínicos, mejorando la capacidad de identificar patrones y generar diagnósticos tempranos (Murphy, 2023). Algoritmos y redes neuronales profundas han mostrado altos niveles de precisión en la clasificación de pacientes según riesgo clínico (Da'Costa et al., 2025). Estos modelos superan a los métodos tradicionales al incorporar múltiples variables en tiempo real, ofreciendo resultados satisfactorios en pruebas de validación.

El *machine learning* (ML) que corresponde a una rama de la IA, permite que los sistemas aprendan de grandes volúmenes de datos sin necesidad de ser programados de forma explícita. En medicina, esto se traduce en modelos que pueden identificar

patrones en historias clínicas electrónicas, imágenes diagnósticas o registros de síntomas, con el fin de apoyar la toma de decisiones clínicas (Sánchez-Salmerón et al., 2022). El reto principal es que, aunque los resultados son prometedores, hay riesgos. Por ejemplo, si los datos con los que se entrena un modelo no representan bien a toda la población, los resultados pueden estar sesgados (Porto, 2024).

### **Modelos predictivos aplicados al triaje**

Modelos de aprendizaje automático supervisado para predecir los resultados de triaje de pacientes ya han sido aplicados en diferentes regiones del mundo, ayudando así a dar una evaluación más precisa y unos resultados prometedores (Elhaj et al., 2023) presentando herramientas sólidas de toma de decisiones que pueden mejorar este proceso en pacientes y ayudar al personal de triaje en su decisión como es el caso del estudio presentado por Hamza Elhaj publicado en el año 2023.

El uso de aplicaciones móviles en salud, conocidas como *mHealth*, constituye un campo emergente en la atención médica. Estas herramientas permiten al usuario registrar síntomas, recibir recomendaciones personalizadas y, en algunos casos, realizar diagnósticos preliminares basados en algoritmos (Istepanian & Al-Anzi, 2020).

En países desarrollados, aplicaciones como *Ada Health*, *Babylon Health* o *Symptoma* han sido utilizadas para orientar a los pacientes sobre la urgencia de sus síntomas, reduciendo las consultas innecesarias en servicios de urgencias (Takita et al., 2025). En América Latina, los avances en *mHealth* son incipientes o nulos. En Colombia, aunque existen aplicaciones para tele consulta (tales como 1DOC3 y DoctorAki), aún no se han desarrollado soluciones robustas de triaje digital adaptadas al marco normativo local.

## **Riesgos y limitaciones**

Los principales retos en la implementación de estas aplicaciones incluyen:

**Usabilidad y accesibilidad:** garantizar interfaces intuitivas y adaptadas a distintos niveles de alfabetización digital.

**Conectividad:** asegurar que funcionen en entornos con baja cobertura de internet.

**Protección de datos:** implementar mecanismos de encriptación y almacenamiento seguro. (El et al., 2022)

La expansión del ecosistema de aplicaciones móviles en salud ha traído consigo no solo beneficios en accesibilidad y personalización de la atención, sino también riesgos asociados a la seguridad, privacidad y fiabilidad de estas herramientas, especialmente para usuarios con menor alfabetización digital o experiencia tecnológica. Esta situación ha generado la necesidad de establecer mecanismos de evaluación, certificación y acreditación que garanticen la calidad y seguridad de las aplicaciones, con base en criterios técnicos, clínicos y éticos (Rowland et al., 2022)

## **El paciente como usuario final**

### **Usabilidad y accesibilidad**

El éxito de una aplicación en el ámbito de la salud depende en gran medida de su usabilidad y accesibilidad, ya que estos factores determinan la experiencia del usuario y, en consecuencia, la adopción de la herramienta (Melo, 2019). En el contexto de aplicaciones de triaje digital, la usabilidad se relaciona directamente con la rapidez y precisión con la que el usuario puede registrar sus síntomas, acceder a recomendaciones y comprender el nivel de urgencia asignado.

### **Retroalimentación del paciente y mejora continua**

- Posibilidad de recoger opiniones del usuario (encuestas breves post-uso, calificación de la experiencia).
- Uso de esta retroalimentación para ajustar lenguaje, tiempos, orden de preguntas, etc.
- Ciclo de mejora continua centrado en el paciente.

### **Análisis de restricciones**

El diseño de un aplicativo de triaje médico inteligente en el contexto del sistema de salud colombiano debe contemplar múltiples restricciones que afectan su desarrollo, implementación y sostenibilidad. Estas limitaciones pueden clasificarse en legales, técnicas, económicas, socioculturales, éticas y ambientales. A continuación, se desglosan de manera detallada.

#### **Restricciones Legales y Normativas**

**Cumplimiento de la Resolución 5596 de 2015 que define los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage"**

La aplicación garantiza que la clasificación de pacientes respete los cinco niveles de triaje establecidos oficialmente. Una clasificación diferente carecería de validez jurídica y podría generar conflictos con las IPS.

#### **Protección de datos personales - Ley 1581 de 2012**

El tratamiento de información clínica requiere consentimiento informado y un almacenamiento seguro. La confidencialidad es un derecho fundamental del paciente, y su incumplimiento puede acarrear sanciones legales. Se aplican protocolos de seguridad

y encriptación conforme a la Ley 1581 de 2012, junto con el uso de servidores seguros y consentimiento informado digital para proteger la confidencialidad de los datos clínicos.

### **Restricciones Técnicas e Infraestructurales**

#### **Limitaciones de hardware en dispositivos**

No todos los usuarios tienen equipos de última generación, por lo que el sistema debe ser ligero. Un aplicativo pesado reduciría la adopción en población vulnerable, por ello se propone la utilización de recursos de bajo consumo lo cual permita a cualquier tipo de dispositivo hacer uso del aplicativo.

#### **Tiempo de respuesta del sistema**

El algoritmo responde de manera ágil y efectiva para que sea útil en emergencias. Una demora prolongada compromete la utilidad clínica de la herramienta, ya que el tiempo de respuesta del aplicativo no debe ser mayor a 2 minutos, en caso de falla se propone un back up o sistema de reinicio oportuno el cual no afecte seriamente la funcionalidad de la herramienta.

#### **Interoperabilidad con sistemas hospitalarios**

La diversidad de software en hospitales puede dificultar la integración de datos. Por ello se propone que constantemente la actualización de los datos sea oportuna por parte de las entidades competentes junto con una revisión propia del aprendizaje automático validando así la precisión y la eficacia del mismo.

## **Restricciones Económicas y Financieras**

### **Costos de desarrollo**

Se requieren recursos significativos en programación, infraestructura y validación médica por lo que el presupuesto académico inicial llega a ser limitado o poco valorativo frente a la escala del proyecto. Para solventar esta restricción, se implementa una gestión eficiente de recursos, priorizando las actividades esenciales y optimizando el uso de los medios institucionales disponibles. Se recurre al uso de software libre o de código abierto, así como a los recursos tecnológicos de herramientas propias para la construcción de software, a su vez dicha propuesta se planea presentar a entidades gubernamentales y de salud, las cuales puedan impulsar a la elaboración de la misma para reducir costos.

### **Mantenimiento y actualización continua**

Los algoritmos deben ser actualizados con nuevos datos médicos, lo que implica costos recurrentes. Una aplicación desactualizada perdería eficacia rápidamente, se prioriza el uso de fuentes de datos abiertas, repositorios públicos y convenios académicos que permitan obtener información actualizada sin incurrir en altos costos de adquisición. Asimismo, se implementarán métodos de entrenamiento incremental o aprendizaje continuo los cuales permiten ajustar los modelos sin necesidad de reconstruirlos completamente, optimizando el uso de recursos computacionales y reduciendo los costos asociados. De igual manera, se promoverá la colaboración con instituciones académicas y médicas para el intercambio de datos y la validación de resultados, asegurando la vigencia y fiabilidad del sistema.

### **Costos asociados a seguridad de datos**

El almacenamiento seguro en la nube implica suscripciones y servicios especializados. La protección de datos no puede comprometerse por falta de recursos, se opta por el uso de plataformas de almacenamiento en la nube que ofrezcan planes educativos o de bajo costo, garantizando el cumplimiento de las normativas de seguridad, confidencialidad y protección de datos. Estas plataformas incluyen Google Cloud, que ofrece infraestructura segura con certificaciones internacionales; Microsoft Azure, con soluciones de cifrado y control de acceso; Amazon Web Services, que dispone de servicios escalables y cumplimiento normativo en el sector salud; y IBM Cloud, que integra herramientas de seguridad avanzada y gestión de datos sensibles. Estas plataformas permiten implementar estándares como el cifrado de extremo a extremo, autenticación multifactor y copias de seguridad automatizadas, reduciendo riesgos asociados a la gestión de información médica

### **Restricciones Socioculturales**

#### **Baja alfabetización digital en algunos usuarios**

Pacientes de zonas rurales o de mayor edad pueden tener dificultades para usar el aplicativo digital. Esto limita el alcance real del sistema, se implementarán estrategias de acompañamiento y capacitación básica orientadas a los usuarios con menor familiaridad tecnológica. Estas acciones incluirán materiales de apoyo visual y guías interactivas que expliquen el uso del aplicativo de manera clara, sencilla y en lenguaje accesible.

Asimismo, se considerará el diseño de una interfaz intuitiva e inclusiva

## **Restricciones Éticas y de Seguridad en Salud**

### **Cambios normativos y reforma del sistema de salud**

El diseño de SmartTriage se apoya de manera explícita en el marco regulatorio vigente al momento de desarrollar este proyecto, especialmente en la Resolución 5596 de 2015, que define los cinco niveles de triaje y los tiempos máximos de atención en servicios de urgencias, así como en la normatividad relacionada con protección de datos personales y manejo de información en salud.

Sin embargo, el país atraviesa un contexto de discusión y posible modificación de la reforma a la salud, en el cual podrían cambiar aspectos como la forma de organización de las redes de servicios, los mecanismos de aseguramiento, las rutas de atención y, potencialmente, algunos lineamientos operativos de la atención en urgencias. Este escenario introduce una restricción normativa dinámica: el modelo regulatorio que sirve de base a este trabajo no es estático y podría transformarse durante los próximos años.

Ante esta situación, el proyecto asume una postura de flexibilidad y adaptación. SmartTriage se concibe como una herramienta basada en criterios de triaje y en la priorización clínica de pacientes, más que como un sistema rígido atado a una única configuración institucional. En la práctica, esto significa que:

- Si el sistema de salud mantiene la estructura actual, el prototipo puede alinearse de forma directa con los cinco niveles de triaje y los tiempos de atención ya definidos, integrándose con las rutas de urgencias vigentes.
- Si la reforma introduce cambios en las rutas de atención, en la forma de organización territorial o en los parámetros de clasificación de pacientes, la herramienta podría ajustarse actualizando sus tablas de decisión, sus tiempos

de referencia y las integraciones con nuevos sistemas de información, sin necesidad de rediseñar completamente la arquitectura.

En este sentido, la posible reforma no invalida la propuesta, sino que representa un reto de actualización continua, ajustándose a cualquier actualización normativa futura posible.

### **Sesgos en los algoritmos de *machine learning***

Los modelos pueden discriminar poblaciones si los datos de entrenamiento no son representativos. Un sesgo algorítmico podría derivar en atención desigual. Se emplearán conjuntos de datos diversos y validados para reducir sesgos, junto con pruebas de equidad algorítmica que garanticen resultados imparciales en distintos grupos poblacionales.

### **Riesgo de errores críticos en triaje**

Una mala clasificación en el triaje podría tener consecuencias fatales para pacientes graves, especialmente en casos de subtraje (clasificar como poco urgente a un paciente con riesgo vital), lo que se traduce en retrasos en la atención, deterioro clínico acelerado, aumento de complicaciones y riesgo de muerte. De igual forma, el sobretraje (asignar prioridad alta a casos que no lo requieren) puede saturar aún más los servicios de urgencias, desplazar a pacientes realmente críticos y generar un uso ineficiente de los recursos asistenciales. También existen riesgos asociados a fallos técnicos, interpretación errónea de las preguntas por parte del paciente o sesgos en el algoritmo, que pueden alterar la recomendación de nivel de urgencia. La ética médica obliga a minimizar estos riesgos antes de implementar la solución, por lo que se establecerán protocolos de verificación doble y validación cruzada para reducir errores

críticos, priorizando siempre la seguridad y el bienestar del paciente por encima de la automatización. A su vez, se incluirá una alerta visible al inicio del uso de la herramienta que informe de estos posibles riesgos y recuerde que el sistema es un apoyo a la decisión, mas no un sustituto del juicio clínico profesional.

### **Metodología para la selección y desarrollo de solución**

Para el diseño de la solución tecnológica de triaje médico inteligente, se adopta una metodología de ingeniería que parte de evaluar conceptualmente las alternativas hasta llegar a la propuesta más viable. Este enfoque asegura que la solución no solo sea sólida técnicamente, sino que también sea relevante, sostenible y alineada con las restricciones del contexto colombiano. A continuación, se detallan los pasos seguidos.

#### **Análisis y Establecimiento de Criterios Nacionales**

Esta etapa metodológica tuvo como objetivo identificar y organizar los criterios básicos de triaje que serían utilizados en el diseño del prototipo, en coherencia con la normativa colombiana vigente.

Dado el alcance del proyecto, esta etapa no incluyó el análisis estadístico de bases de datos clínicas ni una revisión documental sistemática amplia. En su lugar, se optó por una delimitación conceptual preliminar, esto en concordancia al Objetivo Específico 1: Analizar la problemática de priorización y tiempos de espera en el sistema de salud colombiano, mediante la revisión de datos oficiales y protocolos médicos vigentes, para establecer criterios de triaje acordes a la realidad nacional. En este sentido, la metodología se estructuró en tres actividades principales: la identificación del marco normativo de referencia, la delimitación de las variables clínicas mínimas necesarias para el registro básico y la estructuración conceptual de los criterios de triaje como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1. Definición preliminar de criterios de triaje para el prototipo**

Actividad metodológica	Descripción
<b>Identificación del marco normativo de referencia</b>	Se tomó como referencia central la Resolución 5596 de 2015, que establece el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias, así como los cinco niveles de triaje y sus tiempos orientativos de atención. A partir de esta norma se definió el esquema general de clasificación que guiaría el prototipo.

<b>Delimitación de variables clínicas mínimas</b>	Con base en el marco normativo, se definió un conjunto reducido de variables clínicas mínimas (edad, motivo de consulta, síntomas principales, tiempo de evolución y antecedentes relevantes) consideradas suficientes para alimentar un prototipo funcional de triaje digital.
<b>Estructuración conceptual de los criterios de triaje</b>	Los niveles de triaje y las variables seleccionadas se organizaron en un esquema conceptual. Esta estructuración sirvió como base para la futura lógica del modelo de triaje y como insumo para el diseño de la herramienta, sin implicar aún pruebas de interfaz ni validación de usabilidad.

*Nota.* Elaboración propia.

### **Selección y Evaluación de la Herramienta Tecnológica**

La definición de la herramienta tecnológica adecuada se logró al realizar las siguientes actividades, esto con el fin de que esté alineada al objetivo específico 2: Seleccionar una herramienta tecnológica adecuada para la solución, considerando criterios de accesibilidad, usabilidad y compatibilidad. En la tabla 2 se presentan las actividades para seleccionar y evaluar las herramientas tecnológicas disponibles para el diseño.

**Tabla 2. Actividades para seleccionar y evaluar las herramientas tecnológicas disponibles para el diseño.**

Actividad Metodológica	Descripción
------------------------	-------------

<p><b>Evaluación Comparativa de Plataformas Tecnológicas (Evaluación de las soluciones)</b></p>	<p>Se realizó una comparativa para contrastar dos arquitecturas de <i>Front-End</i>: Aplicación Móvil Nativa vs. Aplicación Web Progresiva (PWA). La evaluación incluyó criterios de accesibilidad, compatibilidad con dispositivos de gama baja y la mitigación de barreras socioculturales, permitiendo rechazar tempranamente la alternativa menos favorable.</p>
<p><b>Justificación Técnica de la Plataforma Web y Adecuación al Contexto</b></p>	<p>Una vez seleccionada la alternativa de aplicación web (PWA), este procedimiento metodológico se enfocó en su justificación técnica y operativa frente a las restricciones del contexto colombiano. Se probó cómo la elección de una aplicación web elimina la barrera de descarga y el requerimiento de tiendas de aplicaciones, optimizando el funcionamiento en dispositivos de gama baja o con conectividad limitada. Esta justificación demuestra que la plataforma seleccionada es la más adecuada para reducir las barreras de acceso y apropiación tecnológica en poblaciones vulnerables (Valencia et al., 2024)</p>

*Nota.* Elaboración propia.

### **Diseño y Prototipado detallado**

Esta etapa se enfoca en el proceso de diseño del prototipo antes del desarrollo, utilizando la herramienta Figma, tal como lo requiere la estructura de trabajo y planteado en el objetivo específico 3: Desarrollar la arquitectura funcional y la interfaz de usuario de la aplicación, incorporando principios de usabilidad, accesibilidad y geolocalización, con

el fin de facilitar el registro rápido de síntomas y la orientación hacia centros médicos cercanos. La tabla 3 resume las actividades para realizar el diseño de la arquitectura y el prototipado.

**Tabla 3. Actividades para realizar el diseño de la arquitectura y el prototipado.**

Actividad Metodológica	Descripción
<b>Diseño de Arquitectura Funcional y UX</b>	Se elaboró el Diseño de la Arquitectura Funcional del Prototipo y los módulos del sistema. El Diseño de Experiencia de Usuario (UX) se centró en la creación de un flujo ágil.
<b>Prototipado de Interfaz de Usuario (UI) mediante Figma</b>	Se procedió al diseño visual de la aplicación en la herramienta Figma, siguiendo los lineamientos de accesibilidad WCAG 2.1. La metodología consistió en la creación de los Mockups detallados de cada pantalla, que sirven como la representación del producto final antes de su codificación.

*Nota.* Elaboración propia.

### **Arquitectura funcional**

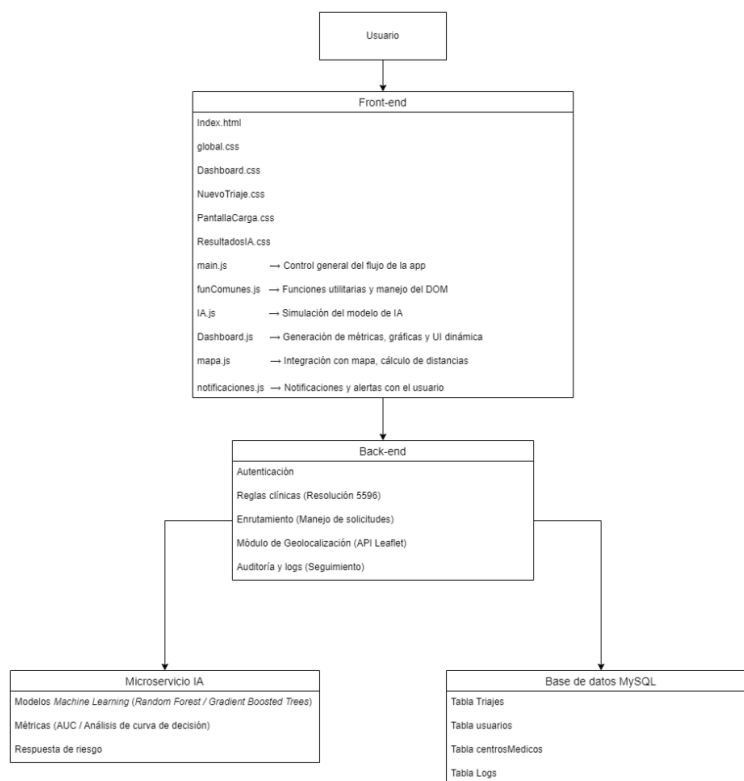
El prototipo implementa una arquitectura de las siguientes capas:

1. **Capa de presentación (Front-end PWA):** HTML/CSS/JS, pantallas de triaje, dashboard y geolocalización.
2. **Capa de lógica (Backend propuesto):** Evaluación de triajes, autenticación, almacenamiento de registros, auditorías y logs.

- a. **Capa de datos:** base de datos relacional (MySQL) para registros de triaje, logs y usuarios; almacenamiento seguro para backups y logs; Autenticación (JWT) y Geolocalización (Leaflet).
- b. **Microservicio IA:** Modelos de machine learning, métricas (AUC, análisis de curva de desición, respuesta de riesgo

La figura 2 presenta el diagrama de arquitectura funcional del prototipo

**Figura 2. Diagrama de Arquitectura funcional del prototipo**



*Nota.* Elaboración propia (2025).

En la primera capa se encuentra el *front-end*, el cual incluye las vistas y hojas de estilo, así como los scripts JavaScript responsables de que las funcionalidades de la página web se logren de manera exitosa.

La segunda capa corresponde al *back-end*, que se representa a nivel arquitectónico, pero no será implementado debido a las limitaciones de tiempo y a la falta de acceso a datos clínicos reales. Su función sería manejar la autenticación, aplicar

reglas clínicas basadas en la Resolución 5596, gestionar las solicitudes del *front-end* y registrar eventos mediante un sistema de auditoría y logs. Esta capa permitiría centralizar la lógica de negocio y garantizar el cumplimiento normativo.

La tercera capa contempla un microservicio de inteligencia artificial, encargado de ejecutar modelos predictivos como *Random Forest* o *Gradient Boosted Trees*, tal como se propone en el estudio de (Raita et al., 2019) .Su diseño independiente permite que el sistema pueda integrar, actualizar o escalar los modelos sin afectar el resto de la aplicación.

Finalmente, se incorporará una base de datos MySQL, orientada a almacenar historiales de triajes, usuarios, centros médicos y registros de auditoría. Aunque tampoco será implementada, su diseño demuestra la viabilidad del sistema para soportar datos estructurados en una futura versión funcional.

## **Resultados**

### **Análisis y Establecimiento de Criterios Nacionales**

Como producto directo de la metodología descrita, se obtuvieron resultados que permiten cerrar el ciclo del Objetivo Específico 1, pasando de una comprensión general del problema a un conjunto de criterios de triaje adaptados al contexto colombiano.

Se adoptó como referencia principal la Resolución 5596 de 2015 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, que establece cinco niveles de triaje y sus tiempos orientativos de atención (Ministerio de salud y protección social, 2015). En el marco del presente trabajo, estos niveles se asumieron como el esqueleto regulador del

prototipo, de modo que cualquier propuesta funcional se mantuviera coherente con el estándar nacional vigente y no generara categorías paralelas sin validez normativa.

En términos operativos, el esquema de triaje adoptado considera:

- **Nivel I:** atención inmediata, dirigida a pacientes con riesgo vital o compromiso hemodinámico severo.
- **Nivel II:** atención en un máximo de 30 minutos, para cuadros muy urgentes con alta probabilidad de deterioro clínico.
- **Nivel III:** atención en un máximo de 2 horas, orientada a pacientes urgentes que requieren valoración oportuna, aunque sin compromiso vital inminente.
- **Nivel IV:** atención en un máximo de 4 horas, para problemas de menor urgencia que permiten una espera moderada.
- **Nivel V:** atención diferida hasta 24 horas, reservada para situaciones no urgentes que pueden manejarse mediante cita programada u otros dispositivos asistenciales de menor complejidad.

Este esquema se utilizó como marco normativo y funcional para orientar la propuesta, y se integró en el esquema conceptual de triaje elaborado en esta etapa. A partir de él se definieron las categorías de prioridad que el modelo deberá respetar en fases posteriores de desarrollo y validación, garantizando alineación con la normativa colombiana.

En conjunto, estos resultados no constituyen un modelo clínico validado ni un análisis cuantitativo de datos, sino una base conceptual y normativa mínima que orienta las decisiones de diseño y sienta las bases para el desarrollo posterior de la lógica algorítmica de triaje y la validación de la herramienta.

### Selección de la Herramienta Tecnológica

La selección de la arquitectura tecnológica se realizó mediante una matriz de decisión multicriterio, en la cual se definieron seis criterios clave alineados con el contexto colombiano y con el objetivo específico 2 (seleccionar una herramienta tecnológica adecuada considerando accesibilidad, usabilidad y compatibilidad). Los criterios evaluados fueron: (i) accesibilidad (no instalar), (ii) compatibilidad con dispositivos de gama baja, (iii) consumo de datos, (iv) dependencia de tiendas de aplicaciones, (v) experiencia de usuario (UX) y (vi) aprovechamiento de funcionalidades de hardware (como GPS).

En primer lugar, a cada criterio se le asignó un peso relativo entre 0 y 1 según su importancia para garantizar la adopción de la herramienta en poblaciones con brechas digitales y equipos de gama media-baja. Estos pesos se definieron por juicio razonado del equipo de proyecto, priorizando los factores más críticos para el contexto colombiano (por ejemplo, accesibilidad y compatibilidad con gama baja) y asegurando que la suma total de pesos fuera igual a 1,00. De esta manera, criterios como la accesibilidad y la compatibilidad recibieron una ponderación mayor, mientras que aspectos como la experiencia nativa o el uso de hardware se ponderaron ligeramente por debajo, dado que aportan **valor**, pero no son determinantes para el acceso inicial a la solución.

En la tabla 4 se presenta el resultado de la evaluación de plataformas realizada.

**Tabla 4. Evaluación comparativa de plataformas**

Criterio	Peso	App Nativa (Android/ iOS)	PWA (App Web)	Comentario
----------	------	------------------------------------	---------------------	------------

<b>Accesibilidad (No instalar)</b>	0.20	2 (0.4)	5 (1.0)	PWA no requiere tienda de aplicaciones
<b>Compatibilidad con gama baja</b>	0.18	3 (0.54)	5 (0.90)	PWA puede optimizarse para 3G
<b>Consumo de datos</b>	0.12	3 (0.36)	4 (0.48)	PWA <i>offline caching</i> reduce consumo
<b>Facilidad de despliegue y actualizaciones</b>	0.15	2 (0.30)	5 (0.75)	PWA actualiza en servidor
<b>Tiendas de aplicaciones</b>	0.10	2 (0.20)	5 (0.50)	Publicación en tiendas de aplicaciones genera fricción
<b>Experiencia nativa (UX)</b>	0.15	5 (0.75)	4 (0.60)	App Nativa tiene ventaja por si experiencia de usuario
<b>Funcionalidades hardware (GPS)</b>	0.10	5 (0.5)	4 (0.40)	PWA soporta Geolocalización
<b>Puntaje ponderado</b>	<b>1.00</b>	<b>3.05</b>	<b>4.63</b>	<b>Selección: PWA</b>

*Nota.* Elaboración propia (2025).

A continuación, se explican los criterios de evaluación utilizados en la matriz de decisión presentada previamente. Estos criterios fueron seleccionados teniendo en cuenta variables técnicas, sociales y operativas relevantes para el contexto colombiano, con el objetivo de garantizar que la tecnología elegida responda de manera eficiente a las necesidades del proyecto y a las condiciones reales de los usuarios potenciales.

### **Accesibilidad (no instalar)**

La accesibilidad se consideró el criterio más importante porque en Colombia existen brechas digitales significativas asociadas a la alfabetización digital, acceso a internet y uso de dispositivos de gama baja. Según (LePage & Richard, n.d.) las *Progressive Web Apps* (PWA) no requieren instalación desde una tienda de aplicaciones, pueden ejecutarse directamente desde el navegador y son más ligeras para dispositivos con capacidad limitada.

Las PWA reciben 5 porque eliminan barreras como descarga, peso de la app y actualizaciones manuales, mientras que las apps nativas reciben 2 debido a que requieren instalación, más espacio y pasos adicionales que afectan a usuarios con baja alfabetización digital.

### **Compatibilidad con gama baja**

Desarrollar apps nativas requiere construir y mantener dos aplicaciones independientes (Android/iOS), lo cual incrementa los costos y tiempos del proyecto. En contraste, una PWA se desarrolla una sola vez y funciona en múltiples plataformas.

- La App Nativa obtiene 2, dado que su costo es significativamente mayor.
- La PWA obtiene 5, porque requiere un solo desarrollo y un único backend.

### **Consumo de datos**

El consumo de datos móviles se consideró un criterio relevante debido a que una parte importante de la población colombiana accede a internet mediante planes prepago con cupos limitados de navegación. En este contexto, una aplicación que requiera descargas frecuentes de actualizaciones pesadas o que recargue constantemente recursos gráficos puede convertirse en una barrera de uso.

### **Tiendas de aplicaciones**

La dependencia de las tiendas de aplicaciones (Google Play, App Store) constituye otra fuente de fricción en el contexto colombiano, particularmente para usuarios con baja alfabetización digital o dispositivos sin servicios de Google plenamente configurados. La necesidad de crear cuentas, recordar contraseñas, aceptar términos y condiciones y gestionar permisos puede convertirse en una barrera para el uso sostenido de la herramienta.

### **Experiencia nativa (UX)**

La experiencia de usuario se evaluó considerando fluidez, respuesta a las interacciones, integración con el sistema operativo y sensación de “aplicación propia” del dispositivo. En este aspecto, las aplicaciones móviles nativas conservan una ventaja, al estar diseñadas específicamente para cada plataforma (Android o iOS), lo que les permite aprovechar componentes de interfaz, animaciones y patrones de interacción altamente optimizados. Por ello, en la matriz de evaluación se asigna una calificación más alta a la app nativa en el criterio “Experiencia nativa (UX)”, mientras que la PWA recibe una calificación ligeramente inferior. Sin embargo, al tratarse de un criterio con peso moderado frente a otros más críticos (como accesibilidad y compatibilidad), esta ventaja de la app nativa no modifica el resultado global a favor de la PWA.

### **Funcionalidades hardware (GPS)**

Este criterio analiza la capacidad de cada arquitectura para aprovechar funcionalidades del dispositivo, en particular el módulo de geolocalización, fundamental para el prototipo propuesto dado que uno de sus objetivos es orientar al paciente hacia centros de atención cercanos.

En consecuencia, la evaluación reconoce una ligera ventaja de la aplicación nativa en este criterio (mayor calificación), mientras que la PWA obtiene una calificación sólo un punto por debajo. Esta diferencia se ve reflejada en la matriz, pero su impacto global es limitado debido a que el peso relativo de este criterio es menor frente a otros factores estructurales como la accesibilidad o la compatibilidad con dispositivos de gama baja.

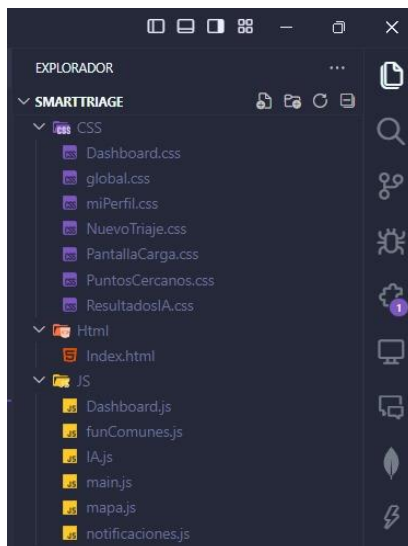
### **Diseño y Desarrollo del Prototipo Funcional**

#### **Visualización Arquitectura funcional del prototipo**

La arquitectura funcional propuesta para *SmartTriage* se diseñó bajo un enfoque modular que permite diferenciar claramente los componentes implementados durante el proyecto (*front-end*) de aquellos proyectados para fases posteriores del desarrollo (*back-end*, microservicio de IA y base de datos). Este diseño responde directamente al objetivo de definir la estructura lógica y los flujos operativos del sistema, garantizando que la solución pueda evolucionar hacia un producto escalable y técnicamente viable.

En la figura 3 se presenta la arquitectura de archivos de *SmartTriage*.

**Figura 3. Arquitectura de archivos de *SmartTriage***



*Nota.* Elaboración propia (2025).

En la primera capa se encuentra el *front-end*, que constituye el único componente completamente implementado en esta fase del proyecto partiendo de la arquitectura planteada. Este incluye las vistas y hojas de estilo, así como los scripts JavaScript responsables del flujo de interacción, la manipulación del DOM, la simulación del modelo de IA, la integración con la API de mapas *Leaflet* y la generación de métricas para los prototipos de pantallas. Su diseño responsivo asegura compatibilidad con dispositivos móviles y navegación accesible, cumpliendo con los criterios de usabilidad definidos en la metodología.

### **Prototipo de Interfaz (*Mockups*)**

El proceso metodológico de diseño en Figma culminó en la elaboración del set completo de *Mockups* detallados, que sirvieron como el plano de construcción para la fase de codificación.

Se implementó el prototipo de interfaz diseñado, utilizando las tecnologías HTML, CSS y JavaScript para la gestión de la lógica *Front-End* y la interacción con el usuario.

Las pantallas diseñadas fueron las siguientes:

1. Dashboard
2. Nuevo Triaje
3. Resultados IA
4. Mi Perfil
5. Puntos Cercanos

## Dashboard

En esta pantalla el usuario puede visualizar de manera clara un consolidado de los triajes que ha realizado, en donde en la parte superior se ven segmentados los triajes completados (casos leves, moderados y graves). La figura 4 muestra la pantalla Dashboard.

**Figura 4. Pantalla - Dashboard**



*Nota. Elaboración propia (2025).*

Por otro lado, en el gráfico llamado distribución del riesgo, se puede visualizar en manera de porcentaje la segmentación de los casos completados mencionados anteriormente y dentro de este, al seleccionar un caso, ya sea leve, moderado o grave se va a filtrar el gráfico de pastel. Por último, en el gráfico llamado "Triajes recientes" se

pueden ver los triajes realizados en los últimos 30 días permitiendo así una visualización general de los casos completados.

Con lo anterior se evidencia que se cumplen los lineamientos de experiencia de usuario WCAG 2.1 y sus 4 principios, es decir, que sea Perceptible, Operable, Comprensible y Robusto.

### **Nuevo Triage (formulario de evaluación)**

En esta pantalla (ver figura 5) el usuario puede iniciar un nuevo proceso de triaje, completar datos básicos del paciente/episodio.

**Figura 5. Pantalla – Nuevo Triage**

The screenshot displays the 'Nuevo Triage' interface. The main content area is a light blue form titled 'Formulario de Triage'. It includes the following fields: 'Nombre del paciente' (text input with placeholder 'Ej. Juan Pérez'), 'Edad' (text input), 'Temperatura (°C)' (text input with value '37.0'), and 'Presión arterial (mmHg)' (text input with value '120/80'). Below these is a text area for 'Síntomas' with the placeholder 'Describe tus síntomas...'. A green button labeled 'Evaluar con IA' is positioned at the bottom right of the form. To the right of the form is a box for 'Evaluación Inteligente' with the text 'Presiona Evaluar con IA para iniciar el análisis.' The top left of the page shows the 'SmartTriage' logo and the tagline 'Evaluamos tus síntomas con inteligencia'. The top right shows the user's name 'Carlos Gómez' and a profile icon. The left sidebar contains navigation links: 'Dashboard', 'Nuevo Triage', 'Resultados IA', 'Mi Perfil', and 'Puntos Cercanos'. The bottom left corner has a 'Cerrar Sesión' link.

*Nota. Elaboración propia (2025).*

Los datos mencionados a completar son los siguientes:

- Nombre.
- Edad
- Temperatura.
- Presión arterial.
- Descripción libre de síntomas.

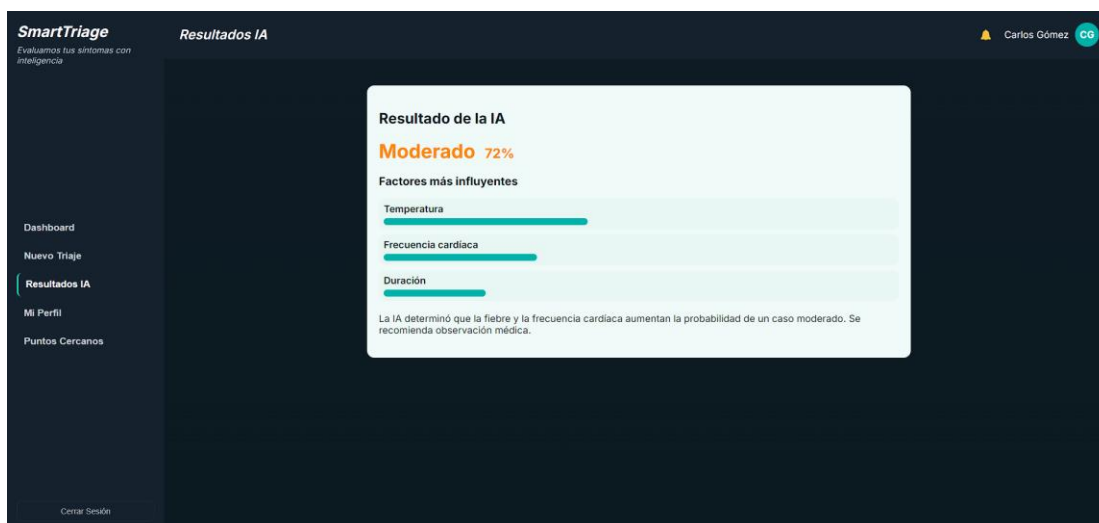
Al final del formulario, el botón Evaluar con IA es el disparador que envía la información a la lógica de clasificación (simulada) para obtener el nivel de riesgo, esta vista representa el momento de captura de información clínica estructurada: el sistema guía al usuario paso a paso para que ingrese los datos mínimos necesarios para que luego el algoritmo de reglas pueda trabajar.

Demuestra que la solución cumple con la idea de un registro estructurado de síntomas y signos de alarma en un tiempo corto y con lenguaje comprensible, como se exige para la usabilidad y la orientación.

## Resultados IA

En esta pantalla (ver figura 6) se puede ver el resultado brindado del análisis realizado por la IA de manera clara y oportuna.

**Figura 6. Pantalla – Resultados IA**



*Nota. Elaboración propia (2025).*

Como se ve en la figura 6, los parámetros brindados por la IA son los siguientes:

- Nivel del triaje (leve, moderado, grave) y el porcentaje del mismo.
- Factores influyentes (Temperatura, Frecuencia cardiaca, Duración, etc).

- Una breve descripción de recomendación dependiendo del nivel del triaje calculado.

## Mi Perfil

En esta pantalla (ver figura 7), el usuario podrá visualizar sus datos personales como lo son: Nombre, correo electrónico, teléfono, número de documento y contraseña.

**Figura 7. Pantalla – Mi Perfil**

The screenshot displays the 'Mi Perfil' page of the SmartTriage application. The page features a dark blue header with the 'SmartTriage' logo and the text 'Evaluamos tus síntomas con inteligencia'. The user's name 'Carlos Gómez' is shown in the top right corner. A sidebar on the left contains navigation options: 'Dashboard', 'Nuevo Triaje', 'Resultados IA', 'Mi Perfil' (which is highlighted), and 'Puntos Cercanos'. At the bottom left of the sidebar is a 'Cerrar Sesión' link. The main content area shows a form with the following fields: 'Nombre' (Carlos Gómez), 'Correo' (carlos.gomez@correo.com), 'Teléfono' (+57 300 000 0000), 'Número de documento' (1.234.567.890), and 'Contraseña' (masked with asterisks). A 'Guardar Cambios' button is located at the bottom of the form.

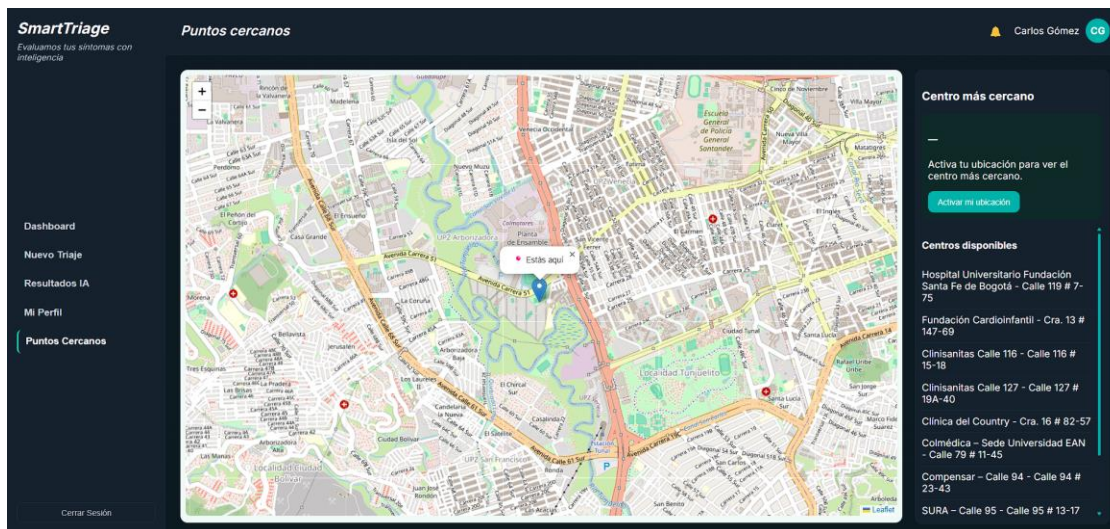
*Nota. Elaboración propia (2025).*

Dentro de esta pantalla, el usuario podrá actualizar sus datos personales y cambiarlos en cualquier momento que sea necesario, ya que se pueden presentar casos en los que se requiera cambiar dicha información como lo pueden ser el cambio de número de teléfono o que el usuario olvide la contraseña que tenía ligada a su inicio de sesión.

## Puntos Cercanos

En esta pantalla (ver figura 8), el usuario puede ubicar centros de salud cercanos a su posición.

**Figura 8. Pantalla – Puntos Cercanos**



*Nota. Elaboración propia (2025).*

- El mapa central muestra el entorno urbano (en este caso, Bogotá) con un marcador que indica la ubicación del usuario.
- En la columna derecha aparece un recuadro “Centro más cercano” con un botón Activar mi ubicación, que indica la posibilidad de usar la geolocalización del dispositivo.
- Una lista de centros de atención con nombres y direcciones (hospitales, clínicas, EPS, etc.).

Una vez se conoce el nivel de riesgo, la herramienta ayuda al usuario a decidir a dónde acudir físicamente, reduciendo el tiempo de búsqueda y la incertidumbre.

Conecta con la parte metodológica donde se plantea que el triaje no se queda en clasificar, sino que debe considerar el contexto y la capacidad real del sistema de salud, incluyendo tiempos de desplazamiento y oferta de servicios, materializa el bloque de

geolocalización y orientación a centros cercanos, mostrando que el diseño lo incorpora en una pantalla utilizable y coherente con la experiencia de usuario.

### **Análisis de costos**

#### **Costos para brindar el servicio**

#### **Costos directos (Variables)**

Estos costos se generan debido a la prestación del servicio y van variando de acuerdo a la cantidad de los triajes que se procesen por la aplicación, en el contexto actual esta app se ubicara en la nube, por lo que principalmente estos costos incurrirán en la infraestructura tecnológica, soporte y servicios externos generados.

Estos costos directos se presentan en la tabla 5

**Tabla 5. Costos directos propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano**

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>	<b>Costo mensual Aproximado en COP</b>
Servidores en la nube (AWS, Azure o Google Cloud)	Procesamiento de los algoritmos de priorización y almacenamiento temporal de datos clínicos.	Tarifas públicas de Google Cloud, AWS, Azure	\$400.000
Base de datos y almacenamiento	Uso de Base de datos relacional MySQL o Firestore, copias de respaldo y logs médicos.	Portal de MySQL o Firestore, copias de respaldo y logs médicos.	\$200.000
API y servicios externos	Integraciones de geolocalización, notificaciones	Leaflet/Api JavaScript de Maps (Google)	\$0 - \$150.000

Soporte técnico y mantenimiento correctivo	Asistencia técnica al cliente y monitoreo 24/7 básico.	Salario parcial técnico TI (20 h/semana).	\$1.500.000
Sueldo del desarrollador principal	Responsable del código y estructura backend.	Escala salarial IT Colombia (Glassdoor, 2025).	\$90.000 x hora (50 horas presupuestadas)
Sueldo del analista de datos / ML	Modelado, análisis y mantenimiento del algoritmo.	Promedio salarial junior–semisenior Data Science Colombia.	\$120.000 x hora (35 horas presupuestadas)

*Nota.* Elaboración propia (2025).

### Costos Fijos

Son aquellos costos constantes los cuales se mantienen independientemente del número de usuarios, estos suelen sostener en la etapa de desarrollo la operación básica

Estos costos fijos se presentan en la tabla 6

**Tabla 6. Costos fijos propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano**

Concepto	Descripción	Fuente estimada	Costo Mensual Aproximado en COP
Servicios básicos e Internet	Energía, conectividad, dominio web y herramientas en línea.	Plan corporativo básico Claro Business.	\$300.000
Seguros y licencias	Seguro de responsabilidad civil y licencias de software (Office, antivirus, IDEs).	Promedios de Allianz / Trend Micro Business.	\$250.000

*Nota.* Elaboración propia (2025).

Estos valores corresponden al mantenimiento operativo mínimo del proyecto, sin incluir gastos de expansión o comercialización.

### **Gastos Generales**

Se refieren a los gastos administrativos los cuales garantizan el correcto funcionamiento del proyecto de manera sostenible, este es importante de validación debido a que servirá como validación de la información en cuanto al triaje.

En la tabla 8 se presentan los gastos generales establecidos.

**Tabla 7. Gastos generales propios junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano**

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente Estimada</b>	<b>Costo Mensual aproximado en COP</b>
Gerencia y asesoría médica	Supervisión ética, validación de casos y reuniones con IPS.	Honorarios médicos externos (turno parcial).	\$2.000.000

*Nota.* Elaboración propia (2025).

### **Resumen mensual de operación**

El resumen mensual de operación (ver tabla 8) presenta una estimación consolidada de los costos necesarios para el funcionamiento continuo del proyecto. Esta proyección permite identificar y organizar los gastos en categorías como costos directos, costos fijos y gastos generales, facilitando el control financiero, la planificación presupuestal y la evaluación de la viabilidad económica a lo largo del tiempo

**Tabla 8. Tabla general la cual muestra el resumen mensual que llevaría a cabo el proyecto**

<b>Categoría</b>	<b>Costo mensual Total en COP</b>
<b>Costos Directos</b>	\$10.950.000
<b>Costos Fijos</b>	\$550.000
<b>Gastos generales</b>	\$2.000.000
<b>Total, mensual estimado</b>	\$13.500.000

*Nota.* Elaboración propia (2025).

### **Inversión inicial del proyecto**

Antes de iniciar la operación comercial, se requiere una inversión inicial que cubre el desarrollo, adquisición de equipos, permisos y capital de arranque.

El costo de diseño y desarrollo del MVP se estimó con base en tarifas promedio de desarrolladores freelance en plataformas como Freelancer.com y Workana, considerando aproximadamente 200 horas de trabajo para modelado de base de datos, backend, interfaz web y prototipo del modelo de triaje.

El rubro de equipos de trabajo corresponde a computadores, monitores, periféricos y router, estimados a partir de precios promedio de equipos de gama media consultados en almacenes de cadena nacionales (Éxito y Alkosto).

La tabla 9 presenta los costos de inversión.

**Tabla 9. Inversión inicial con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano**

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente estimada</b>	<b>Costo Único aproximado en COP</b>
Diseño y desarrollo del MVP	Programación, modelado de base de datos, interfaz web y entrenamiento del modelo de triaje.	Cotizaciones de desarrollo de software (Freelancer.com / Workana).	\$10.000.000
Equipos de trabajo	Computadores, monitores, periféricos, routers.	Precios promedio Éxito / Alkosto (gama media).	\$5.000.000
Instalación y pruebas piloto	Pruebas funcionales en IPS asociadas o entornos simulados.	Estimación interna	\$3.000.000
Licencia de software y registro	Trámite, derechos de marca.	Superintendencia de Industria y Comercio.	\$1.000.000
Permisos y cumplimiento normativo	Revisión de protección de datos (Ley 1581/2012) y validación clínica (Res. 5596/2015).	Asesoría jurídica especializada.	\$2.000.000
Imprevistos			\$2.000.000

*Nota.* Elaboración propia (2025).

### **Capital de Trabajo**

El capital de trabajo representa los recursos financieros necesarios para cubrir las operaciones diarias de un proyecto o empresa, garantizando su funcionamiento continuo en el corto plazo

**Tabla 10. Capital de trabajo a otorgar junto con su concepto, descripción, fuente estimada y valor en peso colombiano**

<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente estimada</b>	<b>Costo Único aproximado en COP</b>
<b>Servicios iniciales y dominios</b>	Compra de dominio, hosting, correo corporativo.	Google Workspace Business Starter.	\$1.500.000
<b>Nómina inicial</b>	Pago de equipo base (desarrollador + analista).	Escala salarial Colombia (junior–medio). A manera mensual	\$9.000.000

*Nota.* Elaboración propia (2025).

### **Resumen general del proyecto a gran escala**

El resumen general del proyecto a gran escala (ver tabla 11) integra los principales componentes estratégicos, operativos y financieros que permiten visualizar su alcance total y proyección a largo plazo.

**Tabla 11. Resumen total de la operación general del proyecto, en esta se muestra el gasto total general estimado, recopilado de las anteriores operaciones presentadas**

<b>Grupo de costos</b>	<b>Valor total (COP)</b>
Costos de operación mensual	\$13.500.000
Inversión inicial	\$23.000.000
Capital de trabajo	\$10.500.000
<b>Total general estimado</b>	<b>\$47.000.000</b>

*Nota.* Elaboración propia (2025).

## **Consideraciones Finales**

Finalmente se destacan la viabilidad y sostenibilidad del proyecto en términos operativos, financieros y normativos. Por un lado, la escalabilidad permite que, a medida que más IPS adopten el servicio, el costo unitario por triaje disminuya, optimizando la rentabilidad. Por otro, el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 y la Resolución 5596 de 2015 garantiza que la gestión de datos y el uso de licencias se desarrollen bajo principios de legalidad, ética y protección de la información en el sector salud.

## **Plan de Implementación a futuro**

El plan de implementación a futuro contempla fases progresivas de adopción tecnológica, capacitación del personal, evaluación de resultados y ajustes operativos, con el fin de garantizar una integración eficiente, sostenible y alineada con las necesidades del sistema de salud y los avances tecnológicos.

### **Permisos y alianzas básicas (3–4 meses)**

Objetivo: Conseguir el permiso para trabajar con datos reales de pacientes y vincular al menos una institución de salud (IPS/EPS) que quiera participar en pruebas futuras.

### **Presentar el proyecto a comités de ética**

- Llevar un resumen del proyecto a:
  - La universidad.
  - La IPS donde se quiera probar la herramienta.
- Explicar claramente que:
  - Hoy solo existe un diseño/prototipo.
  - Lo que se propone es hacer en el futuro pruebas controladas, sin reemplazar al médico.

### **Ajustar el proyecto a las normas**

- La norma de triaje (Resolución 5596/2015).
- La ley de datos personales (Ley 1581/2012).
- Crear documentos sencillos:
  - Una política de tratamiento de datos para SmartTriage.
  - Un formato de consentimiento informado para cuando se use con pacientes de verdad.

### **Buscar una alianza con una IPS/EPS**

- Reunirse con una clínica/hospital para:
  - Contar el proyecto.
  - Proponer que compartan datos históricos de urgencias (ya anonimizados o bajo un acuerdo).
- Firmar un acuerdo donde se especifique:
  - Para qué se usarán los datos.
  - Cuánto tiempo dura la colaboración.
  - Que la IPS sigue siendo la dueña de la información.

### **Fase 2. Conseguir y ordenar los datos (4–6 meses)**

Objetivo: Armar una base de datos limpia y organizada con información de triaje que sirva para hacer análisis y, más adelante, modelos de IA.

#### **Definir qué datos necesito**

- Junto con la IPS, hacer una lista básica de campos, por ejemplo:
- Edad, sexo del paciente.
- Motivo de consulta y síntomas principales.
- Signos vitales (temperatura, presión, pulso, etc.).
- Nivel de triaje asignado.
- Tiempos de espera.
- Si terminó hospitalizado, en UCI o con alta.

### **Pedir los datos históricos**

- Solicitar a sistemas de la IPS un archivo (o varios) con:
  - Registros de urgencias de 1–2 años.

### **Limpiar y ordenar la base**

- Quitar:
  - Registros duplicados.
  - Filas donde falten datos muy importantes.
- Unificar formatos:
  - Fechas en el mismo formato.
  - Unidades consistentes (por ejemplo, °C en temperatura).
- Revisar si los datos “tienen sentido”:
  - Tiempos de espera exagerados.
  - Triage I con pacientes dados de alta en 10 minutos, etc.

### **Fase 3. Agregar un back-end sencillo (4–6 meses)**

Objetivo: Pasar del prototipo solo visual a una aplicación que tenga servidor, base de datos y pueda guardar triajes reales.

#### **Definir una arquitectura simple**

- Mantener el frontend que ya se tiene:
  - Dashboard.
  - Nuevo Triage.
  - Resultados IA.
  - Puntos Cercanos.
- Crear un back-end (por ejemplo con Node.js o Python) que:
  - Reciba los datos del formulario de triaje.
  - Guarde ese triaje en una base de datos.
  - Devuelva una respuesta (nivel de riesgo según reglas básicas).

#### **Crear una pequeña base de datos**

- Tablas sencillas para:
  - Usuarios.
  - Triage realizados.

- Lista de centros de salud.
- Guardar:
  - Qué datos se usaron.
  - Qué resultado devolvió la herramienta.
  - Cuando se hizo el triaje.

### **Implementar reglas básicas de triaje**

- Antes de usar IA, arrancar con algo simple:
  - Si tiene ciertos signos de alarma → riesgo alto.
  - Si tiene síntomas leves y signos vitales normales → riesgo bajo.

### **Seguridad básica**

- Pedir usuario y contraseña al personal de salud.
- Proteger la comunicación con HTTPS.
- No mostrar datos sensibles innecesarios en el frontend.

### **Fase 4. Analítica y primera versión de IA (6–9 meses)**

Objetivo: Analizar los datos que ya se tienen y construir un primer modelo de riesgo que ayude a priorizar mejor a los pacientes.

#### **Analizar los datos (sin IA todavía)**

- Hacer gráficas y reportes, por ejemplo:
  - Cuántos pacientes llegan por día y en qué horarios.
  - Qué niveles de triaje se usan más.
  - Cuánto se demoran las atenciones según el nivel.
- Estas estadísticas sirven para:
  - Confirmar que la realidad coincide con lo que expusiste en el proyecto (saturación, tiempos de espera).
  - Detectar oportunidades de mejora.

#### **Probar modelos sencillos de predicción**

- Objetivo típico:
  - Estimar si un paciente tiene alto riesgo de terminar hospitalizado o en UCI.

- Pasos:
  - Dividir la base de datos en:
    - Datos para entrenar.
    - Datos para probar.
  - Probar modelos simples:
    - Regresión logística.
    - Árboles de decisión / random forest.
- Ver cuál funciona mejor según métricas básicas (ej. AUC, precisión, sensibilidad).

### **Conectar el modelo con la herramienta**

- Una vez exista un modelo aceptable:
  - Agregarlo en el back-end.
- Cuando el usuario llena el formulario, el back-end:
  - Corre las reglas básicas.
  - Llama al modelo de IA.
  - Devuelve al frontend:
    - Nivel de riesgo.
    - Probabilidad estimada.
    - Factores que más influyeron (como ya simula en “Resultados IA”).

### **Registrar y revisar el comportamiento del modelo**

- Guardar:
  - Qué predijo el modelo.
  - Qué pasó en la realidad (si se hospitalizó o no).
- Con el tiempo:
  - Ajustar el modelo.
  - Corregir sesgos o errores que se detecten.

En conclusión, una planificación estructurada y orientada a la mejora continua permitirá no solo optimizar los procesos operativos, sino también asegurar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo, fortaleciendo su impacto en la calidad, oportunidad y eficiencia de la atención en salud.

## Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió evidenciar que la saturación de los servicios de urgencias en Colombia no es un fenómeno coyuntural, sino una problemática estructural asociada tanto a la sobreocupación de las redes de atención como al uso inadecuado de los servicios por parte de pacientes con condiciones no urgentes. En este contexto, se confirmó la necesidad de contar con herramientas de apoyo al triaje que complementen los protocolos normativos existentes y contribuyan a mejorar la gestión de la demanda asistencial en el sistema de salud colombiano.

En relación con el Objetivo Específico 1, el trabajo logró consolidar una base conceptual y normativa mínima a partir de la Resolución 5596 de 2015 y del análisis del contexto nacional de urgencias. Se definió un esquema de cinco niveles de triaje y sus tiempos orientativos de atención como eje regulador del prototipo, así como un conjunto de variables clínicas mínimas para el registro estructurado de la información (edad, motivo de consulta, síntomas principales, tiempo de evolución y antecedentes relevantes).

En cuanto al Objetivo Específico 2, la comparación entre una aplicación móvil nativa y una aplicación web progresiva (PWA) demostró que, dadas las restricciones de conectividad, tipo de dispositivos y barreras de descarga presentes en el contexto colombiano, la PWA constituye la alternativa tecnológica más adecuada.

Respecto al Objetivo Específico 3, se diseñó una arquitectura funcional modular y se desarrolló un prototipo de interfaz implementado en tecnologías web (HTML, CSS y JavaScript), que materializa un flujo de interacción centrado en el usuario. El prototipo incluye vistas para dashboard, nuevo triaje, resultados de IA, perfil de usuario y puntos

cercanos, y se construyó siguiendo lineamientos de usabilidad y accesibilidad (WCAG 2.1). Aunque el backend, la base de datos y el microservicio de inteligencia artificial se definieron solo a nivel de diseño y no fueron implementados por limitaciones de tiempo y de acceso a datos clínicos, la arquitectura propuesta demuestra la viabilidad técnica de evolucionar hacia un sistema escalable e integrable con modelos de machine learning en fases posteriores.

El análisis de restricciones permitió identificar de manera explícita las condiciones legales, técnicas, económicas, socioculturales y éticas que condicionan la implementación real de una herramienta de triaje médico inteligente.

Adicionalmente, el análisis de costos y la propuesta de inversión inicial permitieron dimensionar los recursos necesarios para sostener el desarrollo, despliegue y operación de la solución en un escenario real, diferenciando entre costos de servicio, infraestructura tecnológica, capital de trabajo y mantenimiento.

Es importante señalar que el diseño de SmartTriage se construyó sobre el marco normativo vigente al momento de la investigación, pero contempla la posibilidad de adaptarse a una eventual reforma del sistema de salud. La lógica de priorización basada en criterios clínicos y en el análisis de datos puede mantenerse estable, mientras se actualizan las reglas de negocio y las integraciones técnicas necesarias para ajustarse a nuevos modelos de organización de servicios, redes territoriales o rutas de atención en urgencias. De esta manera, la herramienta resulta factible tanto en el escenario previo a la reforma como en un eventual escenario posterior, siempre que se garantice una revisión periódica de los lineamientos regulatorios.

Finalmente, el plan de implementación a futuro plantea una ruta gradual que abarca desde la obtención de permisos éticos y alianzas con IPS/EPS, pasando por la recolección y depuración de datos clínicos, hasta la incorporación de un backend funcional y la integración de modelos de IA para analítica y predicción. Esto confirma que el presente trabajo se sitúa en una fase de diseño y prototipado conceptual: no ofrece aún una solución lista para uso asistencial, pero sí establece los cimientos metodológicos, arquitectónicos y operativos para el desarrollo de una herramienta de triaje médico inteligente adaptada al sistema de salud colombiano.

## Referencias

- Acosta Villada, C. (2025, August 15). *Urgencias colapsan: hasta 200% de sobreocupación*. <https://www.elcolombiano.com/colombia/alerta-por-colapso-de-urgencia-de-salud-en-varias-ciudades-del-pais-PM28531439>
- Alarcón Belmonte, I., Sánchez Collado, R., Yuguero, O., Acezat Oliva, J., Martínez-Millana, A., & Saperas Pérez, C. (2024a). La alfabetización digital como elemento clave en la transformación digital de las organizaciones en salud. *Atención Primaria*, 56(6), 102880. <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2024.102880>
- Alarcón Belmonte, I., Sánchez Collado, R., Yuguero, O., Acezat Oliva, J., Martínez-Millana, A., & Saperas Pérez, C. (2024b). La alfabetización digital como elemento clave en la transformación digital de las organizaciones en salud. *Atención Primaria*, 56(6), 102880. <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2024.102880>
- Asprilla, T. (2023, August 8). *Mejorar la atención de urgencias en Colombia: MinSalud*. <https://consultorsalud.com/mejora-atencion-urgencias-herramienta-minsalud/>
- Bahl, M. (2024). The unintended consequences of artificial intelligence and high-risk triaging. *European Radiology*, 34(8), 5412–5414. <https://doi.org/10.1007/S00330-023-10553-Y>,
- Casco, M., Nelson, J., Orefice, P., Raygada, G., Tejerina, L., Akita, N., Bermúdez, N., Conde, A., Agostino, M. D. ', Doane, D., Ibararán, P., Kang, D., Marti, M., Martínez, E., Miguens, S., Morales, L., Northwestern, A., Otzoy, D., Park, M., ... Witzel, B. (2022). *La gran oportunidad de la salud digital en América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.18235/0004153>
- Cunha Reis, T. (2025). Artificial intelligence and natural language processing for improved telemedicine: Before, during and after remote consultation. *Atención Primaria*, 57(8), 103228. <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2025.103228>

- Da'Costa, A., Teke, J., Origbo, J. E., Osonuga, A., Egbon, E., & Olawade, D. B. (2025). AI-driven triage in emergency departments: A review of benefits, challenges, and future directions. *International Journal of Medical Informatics*, 197. <https://doi.org/10.1016/J.IJMEDINF.2025.105838>,
- Dorado, D. (2024, July 25). *Salud digital: Innovaciones y desafíos en Colombia para el segundo semestre – Latinpyme*. <https://latinpyme.com/salud-digital-innovaciones-y-desafios-en-colombia-para-el-segundo-semester/>
- El, E. N., De, S., Salud -Oportunidades, L. A., & Desafíos, Y. (n.d.). *Informe 4 Inteligencia Artificial y telemedicina*.
- El tiempo. (2020). *Servicio de urgencias en Colombia: informe de la Defensoría del Pueblo sobre situación del país*. <https://www.eltiempo.com/salud/servicio-de-urgencias-en-colombia-informe-de-la-defensoria-del-pueblo-sobre-situacion-del-pais-460304>
- Elhaj, H., Achour, N., Tania, M. H., & Aciksari, K. (2023). A comparative study of supervised machine learning approaches to predict patient triage outcomes in hospital emergency departments. *Array*, 17, 100281. <https://doi.org/10.1016/J.ARRAY.2023.100281>
- Ferreira Bouza, M., Martínez Guillamón, M. R., Méndez García, T., Monfort Lázaro, M., Pueyo Val, O., & Robles Pellitero, S. (2025). Telemedicine and rural areas. *Atencion Primaria*, 57(9). <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2025.103256>
- Istepanian, R. S. H., & Al-Anzi, T. (2018). m-Health 2.0: New perspectives on mobile health, machine learning and big data analytics. *Methods*, 151, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2018.05.015>
- Liu, T., Gu, Y., Chen, H., Zhang, Y., Zheng, L., Huang, X., Xu, Y., Wen, C., Chen, M., Lin, J., Huang, D., Chen, F., Zhong, Y., Chen, H., Guo, Y., Lu, M., Zhang, G., Wu, H., Wang, C., ... Yu, T. (2025). A foundational triage system for improving accuracy in

moderate acuity level emergency classifications. *Communications Medicine*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/S43856-025-01052->

W;SUBJMETA=139,1735,2423,53,692,700;KWRD=PHYSICAL+EXAMINATION,PRESCRIPTIVE+MARKERS

Melo, J. (2019). *Aplicaciones móviles en salud: usos frecuentes y potenciales riesgos*.

Artículo Investigativo.

<https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/6dc0cbd0-23d7-4f96-8160-799a4620b56e/content>

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. (n.d.). *Resolucion 5596 de 2015*.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). *REPUBLICA COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL*.

[https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%205596%20de%202015.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%205596%20de%202015.pdf)

Ministerio de salud y protección social. (2015). *REPUBLICA COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL*.

[https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%205596%20de%202015.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%205596%20de%202015.pdf)

Ministerio de salud y protección social. (2023). *Sistema de Evaluación y Calificación de Actores 2023*.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/sistema-evaluacion-calificacion-actores-sea-2023.pdf>

Moreno, N. (2025, July 10). *Sobrecarga del 200% en urgencias en Colombia: ACEM advierte sobre el cierre de hospitales y falta de insumos*.

<https://consultorsalud.com/sobrecarga-200-urgencias-acem-cierr-hospotales/>

Müller, T. (2020). Information technology and eHealth to improve patient safety. *Internist*, 61(5), 460–469. <https://doi.org/10.1007/S00108-020-00780-6>,

- Murphy, Dr. P. (2023). Machine Learning Models for Enhancing Emergency Medical Services: AI Approaches for Optimizing Response Times, Triage Processes, and Resource Allocation. *Journal of Machine Learning for Healthcare Decision Support*, 3(2), 83–99. <https://medlines.uk/index.php/JMLHDS/article/view/50>
- Porto, B. M. (2024). Improving triage performance in emergency departments using machine learning and natural language processing: a systematic review. *BMC Emergency Medicine*, 24(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/S12873-024-01135-2/PEER-REVIEW>
- Radiografía de la Salud Rural en Colombia: el 37,3% de los hospitales públicos en están en riesgo financiero.* (n.d.). Retrieved November 16, 2025, from <https://consultorsalud.com/salud-rural-col-hospitales-publicos-financiero/>
- Raita, Y., Goto, T., Faridi, M. K., Brown, D. F. M., Camargo, C. A., & Hasegawa, K. (2019a). Emergency department triage prediction of clinical outcomes using machine learning models. *Critical Care*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/S13054-019-2351-7>,
- Raita, Y., Goto, T., Faridi, M. K., Brown, D. F. M., Camargo, C. A., & Hasegawa, K. (2019b). Emergency department triage prediction of clinical outcomes using machine learning models. *Critical Care*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/S13054-019-2351-7>,
- Rowland, S. P., Fitzgerald, J. E., Lungren, M., Lee, E. (Hsieh), Harned, Z., & McGregor, A. H. (2022). Digital health technology-specific risks for medical malpractice liability. *Npj Digital Medicine*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.1038/S41746-022-00698-3;SUBJMETA=1538,3935,692,700;KWRD=HEALTH+POLICY,MEDICAL+ETHICS>
- Sánchez-Salmerón, R., Gómez-Urquiza, J. L., Albendín-García, L., Correa-Rodríguez, M., Martos-Cabrera, M. B., Velando-Soriano, A., & Suleiman-Martos, N. (2022). Machine learning methods applied to triage in emergency services: A systematic review. *International Emergency Nursing*, 60, 101109. <https://doi.org/10.1016/J.IENJ.2021.101109>

- Saperas Pérez, C., Sequeira Aymar, E., & Barlam Torres, N. (2025). Telemedicine and access to healthcare: Advantages and disadvantages in the digital era. *Atencion Primaria*, 57(10). <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2025.103258>
- Secretaría Distrital de Salud. (2025, May 22). *Porcentaje de ocupación de los servicios de urgencias en las instituciones adscritas a la red pública de Bogotá D.C. - SaluData - Observatorio de Salud de Bogotá*.  
<https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/indicadores/porcentaje-de-ocupacion-de-los-servicios-de-urgencias-en-las-instituciones-adscritas-a-la-red-publica-de-bogota-d-c/>
- Suárez, R. (2020a, February 10). *Servicio de urgencias en Colombia: informe de la Defensoría del Pueblo sobre situación del país*.  
<https://www.eltiempo.com/salud/servicio-de-urgencias-en-colombia-informe-de-la-defensoria-del-pueblo-sobre-situacion-del-pais-460304>
- Suárez, R. (2020b, February 10). *Servicio de urgencias en Colombia: informe de la Defensoría del Pueblo sobre situación del país*.  
<https://www.eltiempo.com/salud/servicio-de-urgencias-en-colombia-informe-de-la-defensoria-del-pueblo-sobre-situacion-del-pais-460304>
- Takita, H., Kabata, D., Walston, S. L., Tatekawa, H., Saito, K., Tsujimoto, Y., Miki, Y., & Ueda, D. (2025). A systematic review and meta-analysis of diagnostic performance comparison between generative AI and physicians. *Npj Digital Medicine*, 8(1).  
<https://doi.org/10.1038/S41746-025-01543-Z>,
- Valencia, S. A., Arias, S. P., Gómez, J. G. B., Ramírez, M. C. G., & Luna, I. F. (2024). Desafíos de la inclusión digital de la mujer en una zona en condiciones de vulnerabilidad en Colombia. *Rev Panam Salud Publica*;48, Oct. 2024, 48.  
<https://doi.org/10.26633/RPSP.2024.108>