

Universidad Siglo 21



Trabajo Final de Grado. Prototipado Tecnológico

Carrera: Ingeniería de Software

Sistema de Aprendizaje Medico en Diagnóstico por Imágenes

Autor: Nicolás Iván Luccatto

Legajo: SOF01663

Córdoba, Junio de 2025

Índice

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Título.....	5
Introducción.....	5
Antecedentes.....	6
Descripción del Área Problemática.....	7
Justificación.....	8
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
Marco Teórico Referencial.....	9
Dominio del Problema.....	9
TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación).....	10
Competencia.....	12
Diseño Metodológico.....	13
Metodología de Trabajo.....	13
Herramientas de Desarrollo.....	13
Tecnologías Utilizadas.....	13
Recolección de Datos.....	14
Planificación del Proyecto.....	14
Relevamiento Funcional.....	16
Proceso de negocio.....	16
Diagnóstico y Propuesta.....	18
Diagnóstico.....	18
Propuesta.....	19
Objetivos, Límites y Alcances del Prototipo.....	20
Objetivo.....	20
Límites.....	20
Alcances.....	20
Descripción del Sistema.....	21
Product Backlog.....	22
Sprint Backlog.....	28
Estructura de Datos.....	30

Diagrama de Clases	30
Diagrama de Base de Datos Relacional	30
Prototipos de interfaces de pantallas.....	31
Diagrama de Arquitectura.....	34
Seguridad	35
Acceso a la Aplicación	36
Política de Respaldo de Información	36
Análisis de Costos.....	37
Costos de Desarrollo.....	37
Costos Operativos	38
Costo Total del Proyecto.....	39
Análisis de Riesgos.....	39
Identificación de Riesgos.....	39
Matriz de Riesgo.....	41
Conclusiones.....	43
Demo.....	44
Referencias.....	45

Resumen

El diagnóstico por imágenes constituyó una herramienta esencial en la medicina moderna, ya que permitió detectar, clasificar y monitorear una amplia variedad de patologías. Sin embargo, la formación de los futuros profesionales en esta área presentó desafíos significativos, especialmente en lo que respecta a la interpretación eficaz de estudios y la adquisición de experiencia clínica. Las tecnologías actuales permiten potenciar la enseñanza tradicional mediante la incorporación de retroalimentación inmediata.

En respuesta a esta necesidad, se propuso el desarrollo del “Sistema de Aprendizaje Médico para Diagnóstico por Imágenes”, una aplicación interactiva diseñada para mejorar la formación académica de estudiantes de medicina en el área del diagnóstico por imágenes. La herramienta se basa en estudios reales con diagnósticos confirmados, a partir de los cuales se generan preguntas dinámicas mediante inteligencia artificial. Según las respuestas del usuario, el sistema evalúa el nivel de acierto del diagnóstico planteado, ofreciendo retroalimentación inmediata para reforzar el aprendizaje y mejorar la toma de decisiones clínicas.

Este trabajo integró conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Software, con el propósito de transformar el aprendizaje en un proceso dinámico, personalizado y accesible desde cualquier dispositivo. El proyecto recorrió todas las fases del desarrollo, desde la identificación del problema hasta la implementación de una solución basada en tecnologías web modernas.

Palabras clave: diagnóstico por imágenes, aprendizaje interactivo, estudiantes de medicina, inteligencia artificial.

Abstract

Medical imaging has been an essential tool in modern medicine, as it has enabled the detection, classification, and monitoring of a wide variety of pathologies. However, training future professionals in this field has posed significant challenges, particularly with respect to the effective interpretation of studies and the acquisition of clinical experience. Current technologies allow traditional teaching methods to be enhanced by incorporating immediate feedback.

In response to this need, the development of the “Medical Learning System for Diagnostic Imaging” was proposed—an interactive application designed to improve the academic training of medical students in diagnostic imaging. The tool is based on real studies with confirmed diagnoses, from which dynamic questions are generated using artificial intelligence. Depending on the user’s answers, the system evaluates the accuracy of the proposed diagnosis, offering immediate feedback to reinforce learning and enhance clinical decision-making.

This work integrated knowledge acquired during the Software Engineering degree, with the aim of transforming learning into a dynamic, personalized process that is accessible from any device. The project traversed all development phases, from problem identification to the implementation of a solution based on modern web technologies.

Keywords: diagnostic imaging, interactive learning, medical students, artificial intelligence.

Título

Sistema de Aprendizaje Médico en Diagnóstico por Imágenes

Introducción

En la actualidad, el diagnóstico por imágenes ocupa un lugar central en la práctica médica, ya que permite observar con precisión estructuras internas del cuerpo humano sin necesidad de procedimientos invasivos. Gracias a esta tecnología, los profesionales de la salud pueden identificar lesiones, confirmar diagnósticos clínicos y realizar seguimientos terapéuticos con mayor eficacia. No obstante, adquirir la habilidad de interpretar correctamente estos estudios representa un verdadero desafío tanto para los profesionales médicos como para los estudiantes de medicina.

Durante su formación, los estudiantes se enfrentan a una gran cantidad de imágenes médicas, muchas veces sin un acompañamiento interactivo que les permita poner a prueba sus conocimientos en tiempo real ni recibir retroalimentación inmediata. La enseñanza tradicional se ha basado en clases teóricas, observación pasiva de casos y resolución de ejercicios aislados, lo cual no siempre favorece el desarrollo del razonamiento clínico ni la toma de decisiones diagnósticas fundamentadas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024), “el acceso a tecnologías de diagnóstico por imágenes y la formación adecuada en su uso son componentes esenciales para la cobertura sanitaria universal y la mejora de la calidad asistencial en todos los niveles del sistema de salud”. Esta afirmación resalta la necesidad de integrar nuevas metodologías educativas que fortalezcan la competencia diagnóstica desde etapas tempranas de la formación profesional.

Ante esta situación, se propuso el desarrollo del Sistema de Aprendizaje Médico en Diagnóstico por Imágenes, una aplicación interactiva orientada a complementar la educación médica a través de la práctica constante, personalizada y autogestionada. Esta herramienta permite cargar estudios reales con diagnósticos confirmados y, mediante inteligencia artificial, genera preguntas de opción múltiple adaptadas a los contenidos visualizados. Según las respuestas del usuario, el sistema brinda una devolución inmediata que ayuda a reforzar conocimientos y a mejorar la precisión diagnóstica.

El presente trabajo fue desarrollado en la ciudad de Córdoba, Argentina, aunque su uso y aplicación pueden darse sin límites geográficos. Su objetivo es brindar una solución tecnológica que acompañe la formación académica en medicina, promoviendo un aprendizaje más activo, motivador y centrado en las competencias clínicas necesarias para el ejercicio profesional.

Antecedentes

El diagnóstico por imágenes ha transformado la medicina moderna al posibilitar la observación no invasiva de estructuras internas y alteraciones patológicas, lo que contribuye significativamente a una toma de decisiones clínicas. No obstante, su enseñanza en el ámbito universitario continúa enfrentando importantes desafíos. Tradicionalmente, los estudiantes adquieren conocimientos en diagnóstico por imágenes mediante clases teóricas o prácticas clínicas bajo supervisión, lo que restringe tanto la frecuencia como la calidad de la exposición al material radiológico. De acuerdo con la Sociedad Europea de Radiología (2019), la educación en radiología a nivel de grado presenta limitaciones significativas, ya que suele estar poco estandarizada y no proporciona suficientes oportunidades para que los estudiantes interactúen activamente con las imágenes, lo cual dificulta el desarrollo autónomo de competencias diagnósticas.

En la actualidad, "la teoría y resolución de problemas en entornos no interactivos carece de la intensidad necesaria para preparar a los estudiantes para una gama de patologías reales", lo cual sugiere la necesidad de una mayor diversidad de imágenes médicas en entornos de aprendizaje (Branstetter et al., 2014, p. 854). Por tanto, es fundamental que se implementen nuevas herramientas que faciliten el acceso a una variedad de imágenes y casos clínicos, de manera que los estudiantes puedan practicar y mejorar su capacidad diagnóstica.

La transformación digital en la educación médica ha incorporado herramientas tecnológicas que buscan solucionar estos desafíos. Ellaway y Masters (2008) afirman que las plataformas digitales han demostrado ser altamente efectivas en el aprendizaje de áreas como anatomía y farmacología. Sin embargo, en el diagnóstico por imágenes, las innovaciones tecnológicas siguen siendo limitadas y, en su mayoría, no permiten una práctica constante con retroalimentación inmediata. Es esencial diseñar soluciones tecnológicas que proporcionen un entorno de aprendizaje continuo y accesible para los estudiantes de medicina.

El aprendizaje gamificado ha demostrado ser una herramienta eficaz en la educación médica. Gentry et al. (2019) afirman que la gamificación, al ofrecer experiencias interactivas, mejora la motivación y el rendimiento de los estudiantes, permitiendo que estos practiquen de manera más activa y reciban retroalimentación inmediata sobre sus respuestas. Este tipo de metodología, aplicada en entornos de diagnóstico por imágenes, podría ofrecer una solución innovadora que permita un aprendizaje más profundo y motivador para los estudiantes.

Descripción del Área Problemática

Las áreas afectadas por la falta de herramientas interactivas en el proceso de aprendizaje del diagnóstico por imágenes son los estudiantes de medicina como las instituciones educativas. Los estudiantes, al no contar con plataformas que les ofrezcan una práctica constante y personalizada, corren el riesgo de no desarrollar las habilidades necesarias para interpretar correctamente las imágenes médicas, lo que podría llevar a diagnósticos incorrectos o a una mayor dependencia de la supervisión directa durante sus prácticas clínicas. Esto, a su vez, impacta negativamente en las instituciones educativas, que pueden ver comprometida la calidad de la formación que ofrecen y, en consecuencia, su reputación académica.

Para evadir algunas complicaciones, varias instituciones han adoptado e implementado simuladores y herramientas digitales para promover un aprendizaje interactivo con una retroalimentación automática. Estas tecnologías permiten a los estudiantes adaptar su proceso formativo a sus propias necesidades, ofreciéndoles un entorno seguro y controlado para practicar de forma repetitiva y eficaz, lo que contribuye al desarrollo progresivo de sus habilidades diagnósticas.

Además, la falta de coordinación efectiva entre los diferentes profesionales involucrados en la educación médica, como los radiólogos, médicos generales y educadores, agrava la situación. Sin una comunicación fluida y un enfoque integrado en la enseñanza, los estudiantes pueden recibir información contradictoria o insuficiente, lo que afecta la coherencia y eficacia de su formación. Esto ya ha sido evidenciado en estudios sobre la educación médica:

Estos resultados confirman que la falta de coordinación entre los educadores y los profesionales médicos puede resultar en un aprendizaje fragmentado y

menos efectivo. Es esencial que la cooperación entre estos profesionales sea continua, especialmente en áreas críticas como el diagnóstico por imágenes, donde la precisión y la rapidez son fundamentales (Branstetter et al., 2014, p. 854).

La falta de una plataforma integral que permita la coordinación efectiva entre los distintos profesionales de la salud y la personalización del aprendizaje representa un desafío significativo en la educación médica. Aunque las herramientas tecnológicas actuales han comenzado a facilitar este proceso, todavía se requiere un enfoque que centralice toda la información y permita un seguimiento adecuado del progreso de los estudiantes.

Justificación

El desarrollo de una aplicación interactiva para el aprendizaje del diagnóstico por imágenes en medicina se justifica por la necesidad urgente de mejorar la formación de los futuros profesionales en este campo crítico. Actualmente, los métodos tradicionales de enseñanza presentan limitaciones significativas, especialmente en cuanto a la cantidad de práctica y retroalimentación que los estudiantes pueden recibir. La capacidad para interpretar imágenes médicas de manera precisa y rápida es fundamental para el diagnóstico y tratamiento de una amplia gama de enfermedades, y requiere de un aprendizaje que vaya más allá de la simple observación de casos clínicos.

La implementación de una herramienta tecnológica interactiva permitirá a los estudiantes adquirir y perfeccionar sus habilidades de manera más efectiva y personalizada. Esta plataforma no solo ofrecerá un entorno de práctica constante y adaptativo, sino que también facilitará el acceso a una diversidad de casos clínicos, enriqueciendo así la experiencia educativa. Además, una aplicación de este tipo puede contribuir a un proceso de aprendizaje más autónomo, donde los estudiantes puedan experimentar, equivocarse y corregir sus errores en un entorno seguro y controlado.

Al integrar este tipo de tecnología en el currículo de formación médica, se busca no solo mejorar las competencias individuales de los estudiantes, sino también elevar el nivel general de la educación médica, contribuyendo a la formación de profesionales más capacitados y seguros en el uso de tecnologías de diagnóstico por imágenes. Esta mejora en la formación, a su vez, repercutirá positivamente en la calidad del diagnóstico y tratamiento que

los futuros médicos podrán ofrecer a sus pacientes, lo que justifica plenamente la inversión en el desarrollo y adopción de esta herramienta educativa.

Objetivo General

Desarrollar una aplicación web interactiva de aprendizaje en diagnóstico por imágenes médicas, basada en estudios reales con diagnósticos confirmados, que permita a los estudiantes practicar de forma personalizada mediante preguntas generadas por inteligencia artificial y recibir retroalimentación inmediata, con el fin de ofrecer un espacio de entrenamiento que favorezca el desarrollo de habilidades diagnósticas y la capacidad de interpretación clínica.

Objetivos Específicos

Indagar de qué manera

1. Diseñar una interfaz web que permita a los estudiantes explorar estudios por imágenes médicas reales, organizados por categorías clínicas y niveles de dificultad.
2. Construir una base de datos estructurada que almacene imágenes médicas reales junto con sus diagnósticos confirmados, como insumo para la generación de preguntas clínicas.
3. Implementar un sistema de generación automática de preguntas y retroalimentación inmediata, utilizando inteligencia artificial, que evalúe el nivel de acierto del estudiante e identifique áreas de mejora.
4. Desarrollar funciones de personalización que permitan ajustar los contenidos según el perfil, nivel de conocimiento o preferencias temáticas del profesional o estudiante.
5. Ofrecer una herramienta educativa complementaria a la formación médica tradicional que promueva la práctica autónoma, el razonamiento clínico y el aprendizaje continuo.

Marco Teórico Referencial

Dominio del Problema

El diagnóstico por imágenes constituye una herramienta esencial en la medicina actual. Permite la visualización de estructuras internas del cuerpo humano, facilitando la identificación de patologías y el monitoreo de tratamientos sin necesidad de procedimientos invasivos. Su

correcta interpretación es clave para una atención médica segura y eficaz. En consecuencia, la formación en esta disciplina representa un pilar en la educación de los profesionales de la salud.

Los profesionales médicos, y en particular los especialistas en imágenes, desempeñan un rol central en el diagnóstico clínico. Según la National Library of Medicine (2013), estos profesionales no solo se encargan de interpretar imágenes médicas y tomar decisiones clínicas basadas en evidencia, sino que también colaboran en la formación de estudiantes, guiando el proceso de adquisición de competencias diagnósticas.

En este contexto, los educadores médicos cumplen una función estratégica. Son responsables de acompañar a los estudiantes en el desarrollo de habilidades para interpretar estudios por imágenes, asegurando una comprensión profunda de los conceptos y una aplicación clínica adecuada. De acuerdo con Harden y Crosby (2000), el rol del docente en ciencias de la salud debe superar la exposición teórica tradicional, integrando herramientas activas y adaptativas que respondan a los desafíos del entorno médico actual.

La enseñanza tradicional del diagnóstico por imágenes suele limitarse a la observación pasiva de estudios, con escasas oportunidades de práctica individualizada y retroalimentación inmediata. Esta situación genera una brecha entre la teoría y la práctica clínica. La Organización Mundial de la Salud (2024) destaca que el fortalecimiento de la capacidad diagnóstica mediante imágenes requiere, además de recursos tecnológicos, personal adecuadamente capacitado y estrategias formativas innovadoras.

A partir de esta necesidad, el proyecto propone el desarrollo de una aplicación web interactiva que permita a los estudiantes practicar con estudios reales y recibir retroalimentación automática. Esta herramienta busca optimizar la experiencia de aprendizaje, facilitando la consolidación de conocimientos y promoviendo el desarrollo de habilidades diagnósticas en un entorno accesible, seguro y personalizado.

TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)

El proyecto se apoyó en tecnologías de la información y la comunicación para el desarrollo de la plataforma interactiva. Estas herramientas permitieron construir un entorno funcional, moderno y accesible para los estudiantes de medicina.

Visual Studio Code

Se utilizó como entorno principal de desarrollo. Su compatibilidad con múltiples lenguajes de programación y su integración con Git facilitaron la gestión del código y el control de versiones (Flores, 2022).

JavaScript

Este lenguaje fue empleado para manejar la lógica del sistema, la navegación dinámica y la interacción con los elementos de la interfaz. Permitted controlar eventos, validar respuestas y actualizar el contenido de forma inmediata, garantizando una experiencia fluida (AWS, s.f.).

HTML y Bootstrap

Se utilizaron para construir la estructura y el diseño visual de la aplicación. Bootstrap facilitó la implementación de una interfaz responsiva y atractiva, permitiendo el acceso desde distintos dispositivos, sin afectar la funcionalidad.

jQuery

Se implementó como librería auxiliar para simplificar tareas de manipulación del DOM, llamadas asincrónicas y efectos visuales, acelerando el desarrollo e integración de funcionalidades dinámicas (Kinsta, 2023).

Node.js

Se previó su uso como entorno de ejecución para futuros desarrollos del backend, especialmente en la gestión de preguntas generadas por IA y la integración con bases de datos clínicas.

MySQL

Se propuso como sistema de gestión de base de datos relacional para almacenar registros de usuarios, puntuaciones, configuraciones de preguntas y metadatos de las imágenes utilizadas (García de Zúñiga, 2024).

Estas tecnologías posibilitaron el desarrollo de una plataforma educativa accesible, práctica y alineada con las necesidades actuales de la formación médica.

Gemini (IA de Google)

Se incorporó como agente de inteligencia artificial para la generación automática de preguntas clínicas a partir de los informes médicos cargados. Su capacidad de comprensión contextual y generación de lenguaje natural permitió crear contenidos personalizados con distintos niveles de dificultad (Google DeepMind, 2024).

Competencia

Se analizaron distintas aplicaciones y plataformas utilizadas en el ámbito del diagnóstico por imágenes y la educación médica, con el fin de identificar sus características principales y contrastarlas con el sistema propuesto. La siguiente tabla resume sus enfoques, fortalezas y limitaciones en relación con la interactividad, personalización y retroalimentación.

			
Característica	Radiopaedia	Amboss	OsiriX
¿Ofrece base de imágenes médicas?	Sí	No	Sí
¿Permite resolver preguntas clínicas?	No	Sí	No
¿Brinda retroalimentación inmediata?	No	Sí	No
¿Es interactiva?	Sí	Sí	No
¿Permite personalizar el aprendizaje?	No	Sí	No
¿Facilita colaboración profesional?	Sí	No	No

Tabla 1. Competencias. Elaboración propia.

El análisis permitió concluir que, si bien estas herramientas han sido útiles en sus respectivos ámbitos, ninguna de ellas integró simultáneamente imágenes médicas reales, generación automática de preguntas, retroalimentación inmediata y personalización adaptativa del aprendizaje, tal como lo plantea el presente sistema.

Diseño Metodológico

Metodología de Trabajo

Para el desarrollo del sistema se utilizó la metodología ágil Scrum, elegida por su enfoque iterativo, capacidad de adaptación y organización en ciclos cortos de trabajo. Esta metodología permitió organizar el proyecto en Sprints de dos semanas, asegurando la entrega continua de funcionalidades. Según Schwaber y Sutherland (2020), Scrum permite mejorar la productividad del equipo mediante la autogestión y la revisión constante del progreso.

La gestión del proyecto se realizó con Trello, herramienta visual de organización que facilitó el seguimiento de tareas y etapas del desarrollo. Se estructuraron tarjetas con actividades priorizadas, distribuidas por etapa y categoría funcional, permitiendo una visión clara del estado del proyecto en cada Sprint (Trello, s.f.).

Herramientas de Desarrollo

El desarrollo del sistema se realizó sobre sistema operativo Windows 11, utilizando Visual Studio Code como entorno principal de trabajo. Se utilizó Git como sistema de control de versiones, con respaldo y colaboración remota mediante GitHub.

Tecnologías Utilizadas

Front End

Para la construcción del prototipo se emplearon tecnologías de desarrollo web. Se utilizó HTML5 para la estructura, CSS3 y Bootstrap 5 para el diseño responsivo, y JavaScript junto con jQuery para la lógica de interacción del usuario. Estas herramientas permitieron construir una interfaz moderna, adaptable y funcional.

Librerías y componentes

Se utilizaron íconos de Font Awesome, animaciones con Animate.css y un carrusel de imágenes implementado con Swiper.js. Las imágenes médicas se cargaron de forma estática, simulando estudios reales en el Sistema de Aprendizaje Médico para Diagnóstico por Imágenes.

Back End (en proyección)

Aunque el prototipo es funcional en entorno local, se previó la incorporación futura de un backend desarrollado en Node.js con el framework NestJS, y la utilización de MySQL como sistema de gestión de base de datos para almacenar casos clínicos reales, usuarios y estadísticas de rendimiento.

Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó mediante una revisión de literatura relevante y una observación directa. Se consultaron fuentes como *Fundamentals of Diagnostic Radiology* (Brant & Helms, 2012), publicaciones de la *European Society of Radiology* (2019), y plataformas especializadas como *Radiopaedia* y *Amboss*. Además, se observaron interacciones entre estudiantes y profesionales en entornos clínicos y se mantuvieron conversaciones con personal médico del Sanatorio Allende, institución en la que me desempeñe, lo que permitió identificar necesidades concretas del aprendizaje en diagnóstico por imágenes.

Planificación del Proyecto

El proyecto se planificó utilizando un diagrama de Gantt, que muestra la organización y distribución del tiempo, alineada con las tareas y objetivos del proyecto. Este enfoque permitió un seguimiento detallado del progreso y aseguró que todas las etapas del desarrollo se completaran de acuerdo con los plazos establecidos.

Tesis:		18/Mar	29/Jun	99%
1	✓ Selección del Tema	18/Mar	21/Mar	100%
2	✓ Introducción	23/Mar	24/Mar	100%
3	✓ Justificación	24/Mar	25/Mar	100%
4	✓ Objetivos	26/Mar	02/Apr	100%
5	✓ Marco Teórico	03/Apr	05/Apr	100%
6	✓ Diseño metodológico	06/Apr	09/Apr	100%
7	✓ Relevamiento	10/Apr	13/Apr	100%
8	✓ Proceso de Negocio	14/Apr	18/Apr	100%
9	✓ Diagnóstico y Propuesta	19/Apr	22/Apr	100%
10	✓ Objetivo, Límites y alcance	23/Apr	26/Apr	100%
11	✓ Product Backlog	27/Apr	01/May	100%
12	✓ Historia de Usuario	02/May	05/May	100%
13	✓ Sprint Backlog	06/May	09/May	100%
14	✓ Estructura de Datos	10/May	15/May	100%
15	✓ Prototipo de Interfaces de P...	16/May	21/May	100%
16	✓ Diagrama de Arquitectura	22/May	25/May	100%
17	✓ Seguridad	26/May	29/May	100%
18	✓ Análisis de Costos	30/May	31/May	100%
19	✓ Análisis de Riesgos	31/May	31/May	100%
20	⊗ Desarrollo	01/Jun	29/Jun	95%
21	✓ Conclusiones	07/Jun	10/Jun	100%
22	✓ Referencias	11/Jun	12/Jun	100%
23	✓ Resumen	13/Jun	14/Jun	100%
24	✓ Abstract	14/Jun	15/Jun	100%

Tabla 2. Configuración del Diagrama de Gantt. Elaboración propia.

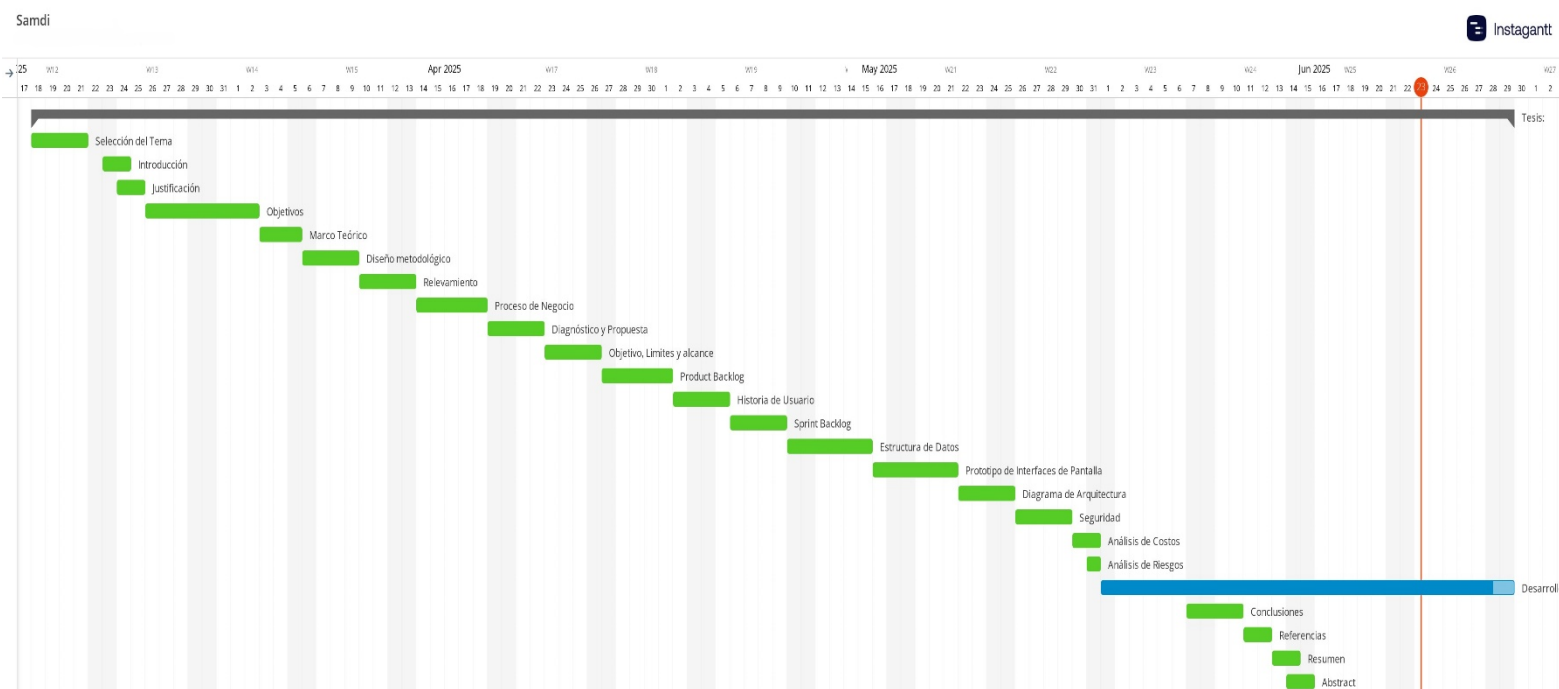


Ilustración 1. Diagrama de Gantt. Elaboración propia

Relevamiento Funcional

Para definir los procesos funcionales del sistema, se tomó como modelo una organización educativa simulada, basada en observaciones realizadas en el Sanatorio Allende y referencias de la práctica docente habitual.

Roles definidos en el sistema:

- Estudiante: Usuario principal de la plataforma. Practica el análisis de estudios por imágenes mediante la resolución de casos clínicos.
- Docente o Especialista Médico: Supervisa el desempeño general, valida el contenido de las preguntas clínicas y orienta el desarrollo de las prácticas.

Los roles fueron definidos con base en observaciones directas realizadas en el entorno hospitalario

Procesos actuales del aprendizaje en diagnóstico por imágenes (forma tradicional):

1. El estudiante accede a una práctica hospitalaria supervisada.
2. El profesional asigna un estudio o permite observar un caso clínico.
3. El estudiante analiza el estudio durante la consulta.
4. El profesional brinda comentarios verbales al finalizar la jornada.

Este proceso, aunque efectivo, depende de la disponibilidad del especialista y no garantiza evaluación sistemática ni práctica individualizada

Proceso de negocio

Actores:

- Estudiante
- Docente/especialista médico

Flujo del proceso:

1. Inicio de práctica supervisada: El estudiante comienza una sesión de formación práctica bajo la supervisión de un profesional médico.

2. Asignación u observación de un caso clínico: Se le asigna un caso clínico al estudiante o simplemente se le permite observar un caso en curso.
3. Análisis del estudio por imágenes: El estudiante realiza un análisis del estudio diagnóstico (radiografía, ecografía, resonancia, etc.), observando y tratando de interpretar las imágenes médicas.
4. Diagnóstico: Con base en su análisis, el estudiante emite un diagnóstico tentativo. Esta es una etapa crítica que evalúa su capacidad de interpretación.
5. Comentario o devolución verbal: El docente o profesional a cargo proporciona retroalimentación verbal, corrigiendo o validando el diagnóstico planteado por el estudiante.
6. Fin de la práctica: Una vez realizada la devolución, se da por concluida la práctica de ese caso.

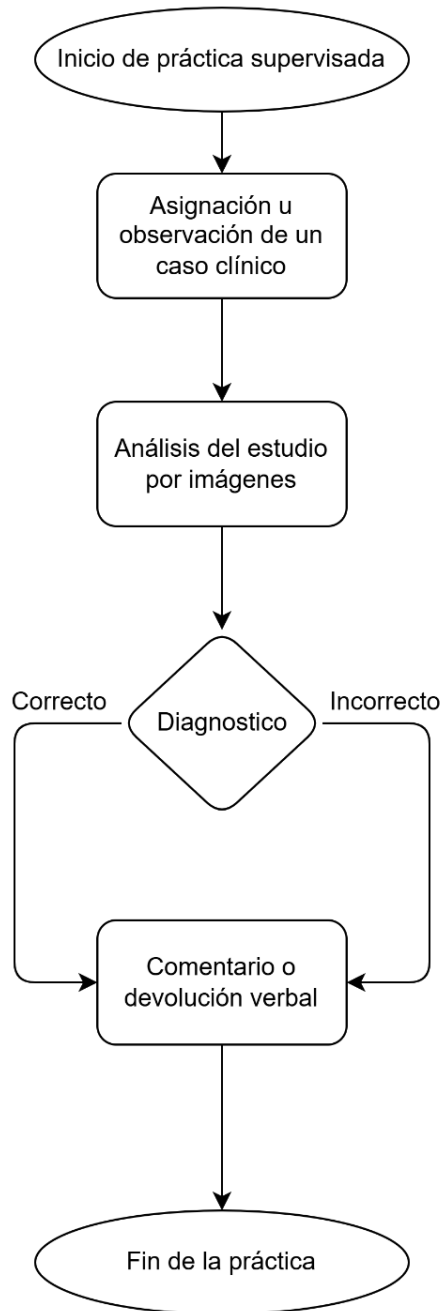


Ilustración 2. Diagrama de Flujo. Elaboración propia

Diagnóstico y Propuesta

Diagnóstico

Actualmente, el proceso de aprendizaje en diagnóstico por imágenes se basa en prácticas hospitalarias presenciales, clases teóricas y la revisión de estudios clínicos bajo supervisión. Este modelo presenta limitaciones que afectan la formación integral del estudiante.

A partir del relevamiento realizado, se identificaron los siguientes problemas y sus causas:

Problemas	Causas
Acceso limitado a estudios reales fuera del entorno clínico	Falta de plataformas educativas que integren casos clínicos con imágenes médicas reales
Retroalimentación tardía y no estandarizada	Dependencia de la presencia de un profesional y de su disponibilidad para corregir diagnósticos
Falta de práctica autónoma y continua en diagnóstico por imágenes	La práctica se restringe a momentos específicos en entornos hospitalarios
Dificultad para medir el progreso del estudiante de forma objetiva	No existen herramientas que registren de manera sistemática las respuestas y el rendimiento

Tabla 3. Diagnostico. Elaboración propia

Propuesta

Frente a esta problemática, se desarrolló una plataforma web interactiva denominada Sistema de Aprendizaje Médico para Diagnóstico por Imágenes (SAMDI). Este sistema permite a los estudiantes practicar con estudios reales, responder preguntas clínicas generadas por inteligencia artificial y recibir retroalimentación inmediata.

Las principales funcionalidades del sistema fueron:

1. Acceso a estudios reales por imágenes, organizados por categorías clínicas y niveles de dificultad.
2. Generación automática de preguntas clínicas, basadas en los casos cargados en el sistema.
3. Evaluación instantánea de las respuestas, con indicaciones correctivas y explicaciones breves.
4. Registro y seguimiento del progreso, mediante puntuación acumulada y control de intentos.

Este sistema se propuso como una herramienta de apoyo a la formación médica tradicional, mejorando la frecuencia, calidad y autonomía de la práctica diagnóstica en estudiantes de medicina.

Objetivos, Límites y Alcances del Prototipo

Objetivo

Desarrollar un prototipo funcional de una aplicación web que facilite el aprendizaje en diagnóstico por imágenes médicas para estudiantes y profesionales de medicina, mediante el análisis de estudios reales con diagnósticos confirmados, la exploración de casos organizados por categoría clínica y nivel de dificultad, la generación automática de preguntas clínicas con inteligencia artificial y la provisión de retroalimentación inmediata personalizada sobre el desempeño, promoviendo así la práctica autónoma, el razonamiento clínico y el aprendizaje continuo.

Límites

El prototipo contempla la carga de imágenes médicas en formatos comunes (JPG, PNG), junto con la incorporación del diagnóstico correspondiente, mediante documento adjunto (TXT, PDF). A partir de esta información, el sistema genera preguntas clínicas y permite su resolución por parte del usuario, ofreciendo retroalimentación automática.

No se incluye, en esta etapa, un sistema de autenticación de usuarios, perfiles diferenciados por rol (docente/estudiante), evaluación final certificada, exportación de datos ni conexión con sistemas clínicos reales. Tampoco se incorporó aún la validación médica de los diagnósticos cargados por terceros.

Alcances

Se define como alcance la siguiente serie de actividades:

- Subir imágenes médicas y asociarlas a diagnósticos reales.
- Generar preguntas clínicas automáticas en base a los diagnósticos ingresados.
- Acceder a los casos agrupados por tipo de estudio (tórax, abdomen, neuro, etc.) y nivel de dificultad (principiante, intermedio, avanzado).
- Visualizar la imagen seleccionada con controles de zoom.
- Responder preguntas con opciones múltiples y recibir retroalimentación inmediata.
- Avanzar entre casos mediante controles de navegación intuitivos.
- Registrar el progreso del estudiante en tiempo real mediante barra de avance y puntuación acumulada.

Descripción del Sistema

El sistema desarrollado corresponde a una aplicación web interactiva destinada al aprendizaje médico en diagnóstico por imágenes. Fue diseñado para facilitar la práctica autónoma de estudiantes de medicina, mediante el análisis de estudios clínicos reales, resolución de preguntas clínicas y recepción de retroalimentación inmediata.

El funcionamiento de la aplicación se estructuró en dos secciones principales: Carga de pares imagen-diagnóstico y Práctica interactiva con estudios por imágenes.

Carga de Imágenes Médicas y Diagnósticos:

El sistema permite subir archivos de imagen médica en formato JPG, PNG. A cada imagen se le asocia un diagnóstico, que puede ser ingresado manualmente o cargado mediante un documento (PDF, TXT). Estos pares imagen-diagnóstico quedan registrados en el sistema como insumos base para la generación de preguntas clínicas automatizadas.

Una vez cargado el par, el sistema habilita la generación de preguntas vinculadas al caso, visibles en una grilla editable. Esta funcionalidad está orientada a docentes, desarrolladores de contenido o personal autorizado para alimentar la base de datos del sistema.

Práctica Interactiva:

Desde la sección de práctica, el estudiante puede acceder a los casos cargados, seleccionando la categoría clínica (tórax, abdomen, neuro, entre otros) y el nivel de dificultad (fácil, intermedio o difícil). Al seleccionar un estudio, se muestra la o las imágenes asociadas y se presentan una serie de preguntas clínicas con múltiples opciones de diagnóstico.

El estudiante selecciona las respuestas y recibe retroalimentación automática e inmediata, incluyendo la indicación correcta.

El sistema registra el número de respuestas correctas e incorrectas, mostrando una barra de progreso y un puntaje acumulado. Esta información se actualiza en tiempo real, permitiendo al usuario monitorear su rendimiento dentro de la sesión.

Product Backlog

ID	Historia de Usuario (HU)	Prioridad	Puntos de historia	Dependencia
HU01	Cargar imagen médica	Alta	3	Ninguna
HU02	Ingresar diagnóstico	Alta	3	HU01
HU03	Visualizar pares creados	Media	2	HU01, HU02
HU04	Filtrar por categoría	Media	2	HU03
HU05	Filtrar por dificultad	Media	2	HU03
HU06	Ver imagen con zoom	Alta	3	HU03
HU07	Responder pregunta	Alta	3	HU01, HU02
HU08	retroalimentación	Alta	2	HU07
HU09	Navegar entre casos	Media	2	HU04, HU05
HU10	Ver progreso y puntuación	Media	2	HU07
HU11	Ver resumen final	Baja	5	HU07, HU10

Tabla 4. Product Backlog. Elaboración propia

ID	Actor	Necesidad	Justificación
HU01	Editor	Cargar una imagen médica a la plataforma	Para crear casos clínicos prácticos que puedan ser utilizados en la formación del estudiante

HU02	Editor	Ingresar el diagnóstico correspondiente a una imagen	Para asociar el caso clínico y permitir la generación automatizada de preguntas
HU03	Usuario	Visualizar los pares imagen-diagnóstico generados	Para revisar los casos existentes o generar preguntas clínicas
HU04	Estudiante	Filtrar los casos por tipo de estudio (tórax, abdomen, etc.)	Para personalizar la práctica según sus intereses o necesidades académicas
HU05	Estudiante	Filtrar los casos por nivel de dificultad	Para practicar de acuerdo a su nivel de conocimiento actual
HU06	Estudiante	Visualizar una imagen médica seleccionada con controles de zoom	Para analizar los detalles diagnósticos relevantes con claridad
HU07	Estudiante	Responder una pregunta clínica sobre un caso seleccionado	Para ejercitar la capacidad de diagnóstico clínico mediante práctica aplicada
HU08	Estudiante	Recibir retroalimentación inmediata al responder	Para identificar aciertos o errores y reforzar el aprendizaje
HU09	Estudiante	Avanzar entre distintos casos clínicos o cambiar de categoría	Para continuar practicando sin interrupciones o

			repeticiones innecesarias
HU10	Estudiante	Visualizar su progreso y puntuación en tiempo real	Para monitorear el avance en la sesión práctica
HU11	Estudiante	Consultar un resumen final de su desempeño (funcionalidad futura)	Para obtener una visión general sobre su rendimiento y áreas a reforzar

Tabla 5. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU01
Nombre	Carga de imagen médica
Descripción	Como editor del sistema, necesito poder cargar una imagen médica para asociarla a un diagnóstico.
Criterios de aceptación	El sistema debe aceptar formatos .jpg y .png Debe permitir cargar más de una imagen.
Prioridad	Alta
Puntos de historia	3

Tabla 6. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU02
Nombre	Ingreso de diagnóstico
Descripción	Como editor, quiero ingresar el diagnóstico correspondiente a una imagen para generar preguntas clínicas.

Criterios de aceptación	El sistema debe aceptar texto manual o carga de archivo (.pdf, .doc, .txt). Debe vincularse a una imagen.
Prioridad	Alta
Puntos de historia	3

Tabla 7. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU03
Nombre	Visualización de pares imagen-diagnóstico
Descripción	Como usuario, quiero ver los pares imagen-diagnóstico para revisarlos o generar preguntas.
Criterios de aceptación	Deben mostrarse en tarjetas. Cada tarjeta debe tener la imagen, el diagnóstico y acciones asociadas.
Prioridad	Media
Puntos de historia	2

Tabla 8. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU04
Nombre	Filtro por categoría clínica
Descripción	Como estudiante, quiero filtrar por tipo de estudio para enfocar mi práctica.
Criterios de aceptación	El sistema debe listar categorías como Tórax, Abdomen, Neuro, etc. Debe actualizar los casos mostrados.
Prioridad	Media
Puntos de historia	2

Tabla 9. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU05
Nombre	Filtro por nivel de dificultad
Descripción	Como estudiante, quiero elegir el nivel de dificultad para adecuar el contenido a mi preparación.

Criterios de aceptación	Debe incluir Principiante, Intermedio y Avanzado. Debe aplicarse al listado de casos mostrados.
Prioridad	Media
Puntos de historia	2

Tabla 10. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU06
Nombre	Visualización interactiva de imagen médica
Descripción	Como estudiante, quiero ver la imagen seleccionada con opción de zoom para analizar detalles.
Criterios de aceptación	Debe permitir aumentar y reducir la imagen. Debe haber un botón para restablecer vista.
Prioridad	Alta
Puntos de historia	3

Tabla 11. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU07
Nombre	Resolución de pregunta clínica
Descripción	Como estudiante, quiero responder una pregunta sobre la imagen para evaluar mi interpretación.
Criterios de aceptación	Debe haber al menos una pregunta por imagen. Debe permitir seleccionar solo una opción.
Prioridad	Alta
Puntos de historia	3

Tabla 12. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU08
Nombre	Retroalimentación instantánea
Descripción	Como estudiante, quiero saber si respondí correctamente para reforzar o corregir mi aprendizaje.

Criterios de aceptación	Debe indicar si la respuesta fue correcta o incorrecta. Debe mostrar visualmente la opción correcta.
Prioridad	Alta
Puntos de historia	2

Tabla 13. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU09
Nombre	Navegación entre casos clínicos
Descripción	Como estudiante, quiero avanzar entre casos o cambiar de categoría para continuar practicando.
Criterios de aceptación	Debe incluir botones de siguiente caso y cambio de categoría. Debe actualizar el contenido mostrado.
Prioridad	Media
Puntos de historia	2

Tabla 14. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU10
Nombre	Seguimiento de desempeño
Descripción	Como estudiante, quiero ver mi puntaje y progreso para saber cómo estoy rindiendo en la práctica.
Criterios de aceptación	Debe mostrar la cantidad de preguntas respondidas. Debe incluir una barra de progreso y puntaje.
Prioridad	Media
Puntos de historia	2

Tabla 15. Historia de Usuario. Elaboración propia

ID	HU11
Nombre	Visualización de resumen final
Descripción	Como estudiante, quiero ver un resumen de mi desempeño para identificar mis aciertos y áreas de mejora.

Criterios de aceptación	Debe mostrar estadísticas generales por categoría y nivel. Debe estar disponible al finalizar la práctica.
Prioridad	Baja
Puntos de historia	5

Tabla 16. Historia de Usuario. Elaboración propia

Sprint Backlog

Sprint	Historia de Usuario ID	Tareas	Prioridad	Estimado (días)	Estado
Sprint 1	HU01	Implementar carga de imágenes (JPG, PNG, DICOM)	Alta	4 días	Finalizado
Sprint 1	HU02	Desarrollar ingreso de diagnóstico (texto o documento)	Alta	4 días	Finalizado
Sprint 1	HU03	Diseñar visualización de pares imagen-diagnóstico	Media	3 días	Finalizado
Sprint 2	HU04	Programar selector por categoría clínica	Media	2 días	Finalizado
Sprint 2	HU05	Programar selector por nivel de dificultad	Media	2 días	Finalizado

Sprint 2	HU06	Agregar funcionalidad de zoom y reinicio en visor de imagen	Alta	4 días	Finalizado
Sprint 3	HU07	Integrar sistema de preguntas clínicas con respuesta única	Alta	4 días	Finalizado
Sprint 3	HU08	Desarrollar retroalimentación inmediata sobre respuestas	Alta	2 días	Finalizado
Sprint 3	HU09	Crear navegación entre casos y botón de cambio de categoría	Media	3 días	Finalizado
Sprint 4	HU10	Implementar barra de progreso y contador de puntuación	Media	2 días	Finalizado
Sprint 4	HU11	Maquetar resumen de práctica	Baja	4 días	En desarrollo

Tabla 17. Sprint Backlog. Elaboración propia
Estructura de Datos

A continuación, se presenta la estructura de datos del sistema, la cual organiza y gestiona la información necesaria para el funcionamiento del prototipo.

Diagrama de Clases

Dado que el sistema fue desarrollado utilizando JavaScript, un lenguaje que permite aplicar principios de la programación orientada a objetos, se utilizó un diagrama de clases para representar las entidades principales del sistema, sus atributos y las relaciones entre ellas.

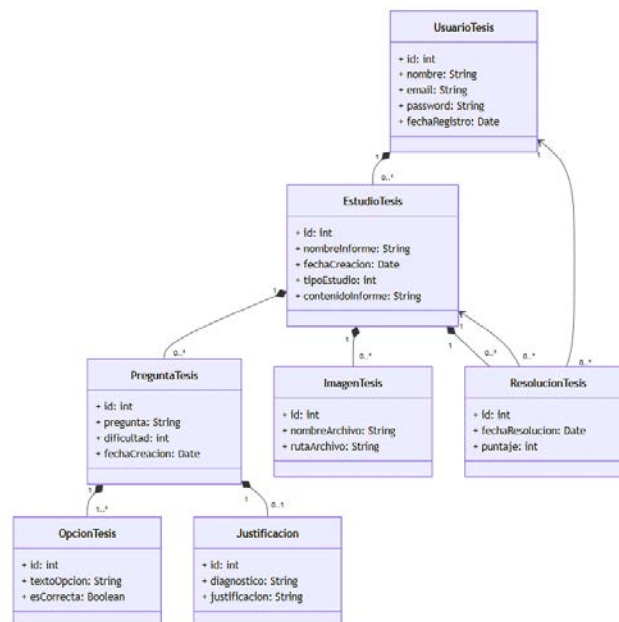


Ilustración 3. Diagrama de Clases. Elaboración propia

Diagrama de Base de Datos Relacional

Debido a que el sistema fue desarrollado utilizando **MySQL** como sistema de gestión de base de datos relacional, se incluye a continuación un **diagrama entidad-relación (ERD)**. Este diagrama representa la organización lógica de los datos, detallando las entidades principales, sus atributos, claves primarias, claves foráneas y las relaciones entre ellas.

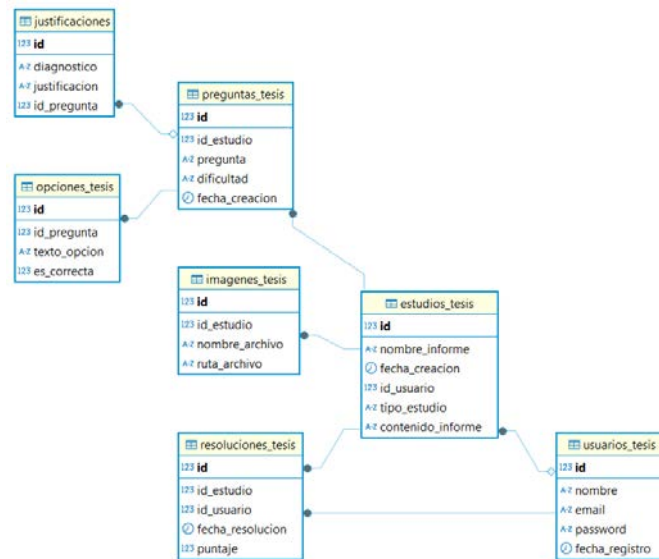


Ilustración 4. Diagrama de Entidad-Relación. Elaboración propia

Prototipos de interfaces de pantallas

El prototipo desarrollado para el sistema SAMDI presenta una serie de pantallas que guían al usuario a lo largo de las funciones principales de la herramienta y su flujo de navegación. La experiencia comienza con una pantalla de bienvenida, donde se puede optar por iniciar sesión o crear una nueva cuenta.

En el caso de registrarse, el usuario completa un formulario simple con datos básicos como nombre, correo electrónico y contraseña. Una vez registrado, accede directamente a la pantalla principal del sistema. Si ya posee una cuenta, puede iniciar sesión para continuar con su entrenamiento.

The image shows two wireframe screens for the SAMDI application. The left screen is the login page, titled 'Inicio sesión'. It features the SAMDI logo at the top, followed by a text input field containing 'lucatto14@gmail.com', a password input field with six dots, and a blue 'Entrar' button. At the bottom, there is a link: '¿No tenés cuenta? Registrarse'. The right screen is the registration page, titled 'Registrarse'. It features the SAMDI logo at the top, followed by a text input field containing 'Nicolás Iván Luccatto', an email input field containing 'lucatto14@gmail.com', two password input fields with six dots, and a blue 'Registrarse' button. At the bottom, there is a link: '¿Ya tenés cuenta? Iniciar sesión'.

Ilustración 5. Prototipo de interfaces: Inicio de sesión y Registro de Usuario. Elaboración propia

La pantalla de inicio ofrece un acceso directo a las funciones centrales: comenzar una práctica diagnóstica, cargar un nuevo estudio o consultar el perfil. La opción de comenzar una práctica permite seleccionar una categoría clínica y nivel de dificultad. Una vez realizada la selección, se despliegan las preguntas clínicas generadas a partir de estudios reales, acompañadas por imágenes médicas en un carrusel interactivo.

The image shows a wireframe of the SAMDI home screen. At the top is the SAMDI logo. Below it is the text 'Bienvenido Nicolás Iván Luccatto'. Underneath is a subtitle: 'Practicá diagnóstico por imágenes con casos reales y retroalimentación inmediata.' At the bottom, there are four buttons: 'Comenzar Práctica' (blue), 'Cargar Estudios' (grey), 'Mi Perfil' (blue), and 'Cerrar sesión' (red).

Ilustración 6. Prototipo de interfaces: Pantalla de Inicio. Elaboración propia

Durante la práctica, el estudiante responde preguntas de opción múltiple y recibe retroalimentación inmediata sobre sus respuestas. Al finalizar, se accede a una pantalla de resultados donde se muestra el puntaje obtenido, el porcentaje de aciertos y una justificación generada automáticamente para cada respuesta incorrecta, basada en el contenido del informe médico correspondiente.



Ilustración 7. Prototipo de interfaces: Selector de Categoría y Dificultad, Test, Retroalimentación. Elaboración propia

Desde la sección "Mi Perfil", el usuario puede consultar su progreso académico general, incluyendo estadísticas como total de estudios resueltos, promedio de aciertos, categorías dominadas, nivel de dificultad abordado y la fecha del último estudio realizado. Además, cuenta con un historial detallado que permite revisar prácticas anteriores, incluyendo puntajes, categorías, fechas y acceso a los resultados con sus respectivas justificaciones.

Mi Perfil Académico				
Progreso Académico				
Total de estudios resueltos: 8		Porcentaje de aciertos generales: 50.00%		
Categorías dominadas: abdomen		Dificultad promedio: Fácil		
Último estudio: 2025-06-29 - Informe rnm.txt				
Historial de Estudios Resueltos				
Fecha	Categoría	Dificultad	Puntaje	Acción
2025-06-20	musculoesqueletico	Intermedio	60.00%	Ver resultados
2025-06-29	abdomen	Fácil	20.00%	Ver resultados
2025-06-22	abdomen	Fácil	60.00%	Ver resultados
2025-06-18	abdomen	Fácil	40.00%	Ver resultados
2025-06-17	abdomen	Fácil	40.00%	Ver resultados
2025-06-03	abdomen	Fácil	80.00%	Ver resultados
2025-06-03	abdomen	Fácil	80.00%	Ver resultados
2025-06-03	abdomen	Fácil	20.00%	Ver resultados

Ilustración 8. Prototipo de interfaces: Pantalla "Mi Perfil". Elaboración propia

Finalmente, la pantalla de carga de estudio permite subir un nuevo informe médico junto con una o más imágenes asociadas. A partir de estos datos, el sistema genera automáticamente cinco preguntas clínicas con distintos niveles de dificultad, listas para ser almacenadas y utilizadas en futuras sesiones de práctica.

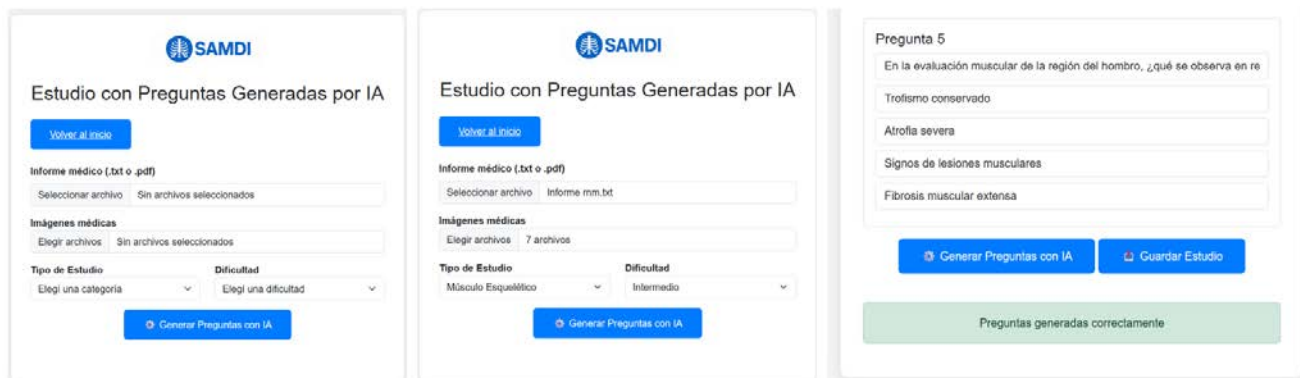


Ilustración 9. Prototipo de interfaces: Pantalla Cargar Estudios. Elaboración propia

Diagrama de Arquitectura

El diagrama de arquitectura muestra cómo las diferentes interfaces del sistema SAMDI se conectan a la infraestructura tecnológica. Los estudiantes acceden a la plataforma a través de navegadores web en sus dispositivos, mientras que los profesionales (como médicos o docentes) utilizan la misma interfaz con distintos niveles de acceso y funcionalidades administrativas.

Ambas interfaces se comunican con un servidor backend desarrollado en Node.js utilizando el framework Express, a través del protocolo HTTP. Este servidor actúa como intermediario entre las aplicaciones web y la base de datos MySQL, gestionando las solicitudes mediante rutas, controladores y lógica personalizada.

La comunicación entre el servidor y la base de datos se realiza mediante consultas SQL, permitiendo acceder, insertar o modificar información relacionada con los usuarios, los estudios médicos, las imágenes, las preguntas clínicas y los resultados. La comunicación es bidireccional, ya que las solicitudes generadas por los usuarios y profesionales viajan desde la interfaz hacia el servidor, que procesa la información, consulta la base de datos si es necesario, y responde a la interfaz correspondiente con los datos solicitados o las acciones confirmadas.

Esta arquitectura garantiza una experiencia de uso fluida, segura y coherente para todos los perfiles involucrados en el sistema SAMDI, facilitando la práctica médica interactiva y el seguimiento del rendimiento académico.

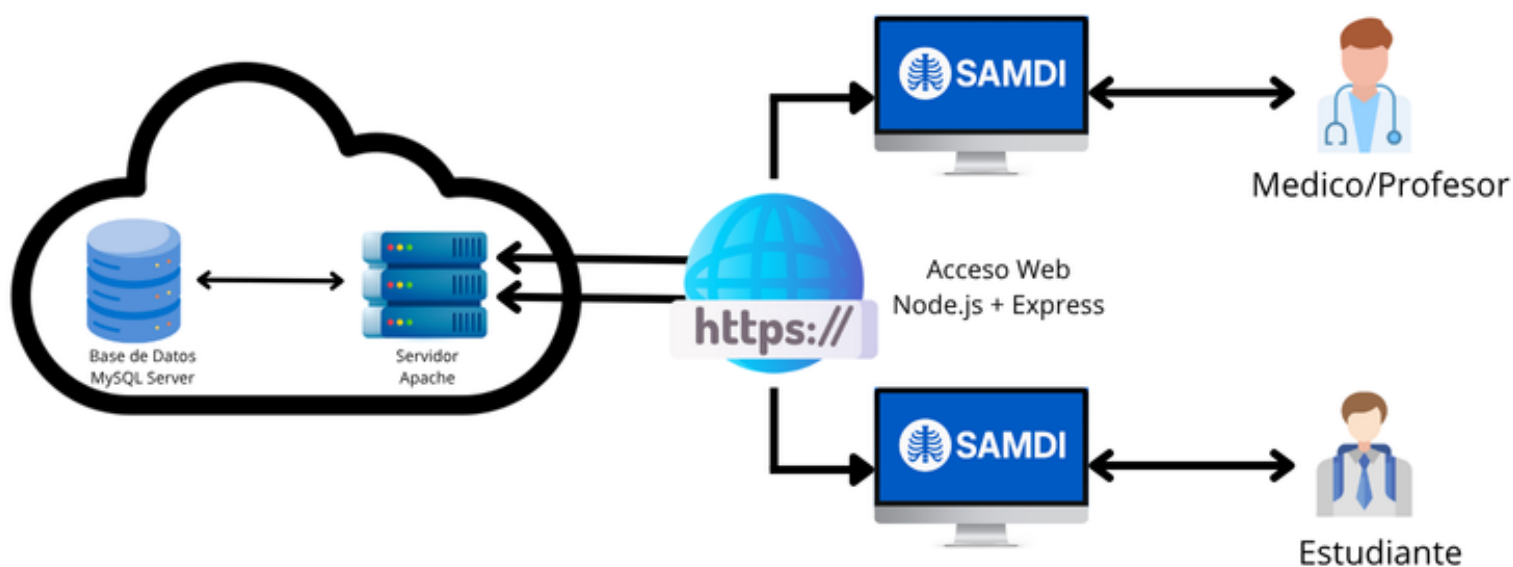


Ilustración 10. Diagrama de Arquitectura. Elaboración propia

Seguridad

El prototipo del sistema SAMDI contempló aspectos esenciales de seguridad y accesibilidad, incorporando mecanismos de autenticación para el acceso controlado y la protección de los datos cargados y generados. Se desarrolló un módulo de registro e inicio de sesión, donde las credenciales fueron almacenadas de forma segura mediante técnicas de hashing, evitando su exposición en caso de accesos no autorizados.

Aunque no se implementaron perfiles diferenciados por rol ni verificación de identidad profesional en esta etapa, todas las cuentas accedieron a funcionalidades enfocadas en la práctica clínica y la generación automática de preguntas.

El sistema permitió la carga de imágenes médicas y documentos de diagnóstico, aplicando validaciones de formato y sanitización de entradas para garantizar integridad y

seguridad durante el procesamiento. No se almacenaron datos clínicos sensibles ni se estableció conexión con entornos hospitalarios reales, minimizando riesgos de exposición.

También se implementó una política de respaldo periódico de la base de datos, asegurando la disponibilidad y recuperación de los contenidos educativos. Si bien las medidas adoptadas fueron básicas, resultan acordes al entorno de pruebas y establecen una base sólida para futuras mejoras.

Acceso a la Aplicación

El acceso al sistema SAMDI se encuentra restringido a usuarios autenticados, quienes deben registrarse mediante un correo electrónico válido y una contraseña segura. Como medida de protección, las contraseñas se almacenan utilizando algoritmos de hashing criptográfico, evitando su exposición directa en la base de datos. Además, se incorporaron validaciones de longitud mínima y combinación de caracteres para fortalecer la seguridad de acceso.

En caso de intentos fallidos consecutivos, se prevé la posibilidad de implementar bloqueos temporales para prevenir ataques de fuerza bruta. Si bien esta funcionalidad no fue incluida en el prototipo actual, su incorporación se encuentra contemplada en etapas futuras.

El acceso a la aplicación es individual y exclusivo, lo que garantiza que cada sesión esté asociada a un único usuario. Esto permite no solo proteger la integridad de los datos, sino también sentar las bases para funcionalidades personalizadas según el perfil académico del estudiante.

Política de Respaldo de Información

Con el fin de garantizar la disponibilidad y protección de los datos almacenados en el sistema, se implementó una política de respaldo automático de la base de datos. Esta medida contempla la creación de copias periódicas de seguridad que incluyen los estudios cargados, las preguntas generadas y los resultados de las prácticas realizadas por los usuarios.

Los respaldos se almacenan en un entorno seguro, separado del sistema operativo principal, y se conservan durante un período determinado para permitir la recuperación en caso de fallos técnicos o pérdida de información. Si bien el entorno actual es de pruebas y no opera

con datos sensibles, esta política sienta un precedente para la escalabilidad del sistema hacia un entorno productivo.

La frecuencia de los respaldos, así como la validación de su integridad, fueron definidas de forma tal que no interfieran con el uso del sistema ni afecten el rendimiento general. A futuro, se prevé la migración de estos respaldos a soluciones de almacenamiento en la nube, con cifrado de extremo a extremo, fortaleciendo aún más la seguridad de la información contenida en el sistema.

Análisis de Costos

Para estimar los costos asociados al desarrollo del sistema SAMDI, se consideraron dos dimensiones principales: los costos de desarrollo y los costos operativos mínimos necesarios para su funcionamiento en un entorno controlado o de producción inicial.

Los valores están expresados en pesos argentinos (ARS), con su equivalente aproximado en dólares estadounidenses (USD) según el tipo de cambio estimado a junio de 2025, que se considera en 1 USD = 1.200 ARS.

Costos de Desarrollo

Se estimaron en base a los roles clave involucrados en el proyecto, considerando los honorarios profesionales mensuales promedio, tiempos de dedicación estimados y referencias del índice IPIM (Honorarios Profesionales, 2025).

Rol	Honorarios Mensuales (AR\$)	Meses Estimados	Subtotal AR\$
Desarrollador Frontend	1.900.000	3	5.700.000
Desarrollador Backend	2.100.000	3	6.300.000
Analista Funcional	1.400.000	2	2.800.000
Tester QA	1.500.000	2	3.000.000

Diseñador UI/UX	1.200.000	1	1.200.000
Total estimado			19.000.000

Tabla 18. Costos de Desarrollo. Elaboración propia

Costos Operativos

Incluyen los recursos mínimos para garantizar el funcionamiento del sistema en un entorno accesible, incluyendo infraestructura técnica, herramientas y servicios asociados.

Recurso	Cantidad	Costo Unidad (AR\$)	Subtotal AR\$
Servidor VPS (1 año)	1	400.000	400.000
Licencia dominio y hosting web	1	80.000	80.000
Certificado SSL	1	30.000	30.000
Licencia API (modelo IA)	1	500.000	500.000
Respaldo en la nube (anual)	1	120.000	120.000
Dispositivo de prueba (notebook)	1	900	900.000
Total inicial aproximado			2.030.000

Tabla 19. Costos Operativos. Elaboración propia

Costo Total del Proyecto

El costo total considera el desarrollo, los servicios operativos y el equipamiento mínimo necesario, optimizando los recursos para cumplir con los objetivos del sistema dentro de un presupuesto acorde al mercado.

Concepto	Subtotal (AR\$)
Recursos Humanos	\$19.000.000
Servicios	\$130.000
Hardware	\$900.000
Costo Total del Proyecto	\$20.030.000

Tabla 20. Costos Totales. Elaboración propia

Análisis de Riesgos

Durante el desarrollo del sistema SAMDI se identificaron diversos riesgos que podrían afectar el cumplimiento de los objetivos, la calidad del producto y la continuidad del proyecto. A continuación, se detallan los principales riesgos detectados, junto con sus causas, probabilidad de ocurrencia, impacto estimado y posibles medidas de mitigación.

Identificación de Riesgos

Riesgo	Causa	Probabilidad	Impacto
Subestimación de tiempos de desarrollo	Planificación optimista, alcance no completamente definido	Alta	Alto

Problemas en la integración con la IA	Complejidad técnica, límites en la API, falta de entrenamiento o específico	Media	Alto
Fallos de rendimiento en entorno real	Uso intensivo de imágenes, múltiples usuarios simultáneos	Media	Medio
Dificultad para validar contenido médico	Falta de participación constante de profesionales clínicos	Alta	Alto
Riesgo de pérdida de datos	Fallas en respaldos, errores de código o almacenamiento	Baja	Muy alto
Dificultades en la adopción por parte del usuario	Falta de motivación o experiencia previa en plataformas educativas	Media	Medio
Problemas en la integración con la IA	Complejidad técnica, límites en la API, falta de	Media	Alto

	entrenamiento o específico		
--	-------------------------------	--	--

Tabla 21. Identificación de Riesgos. Elaboración propia
Matriz de Riesgo

Se utilizó una escala cualitativa para medir la exposición al riesgo (producto entre probabilidad e impacto), aplicando un enfoque basado en la matriz de Pareto para priorizar acciones.

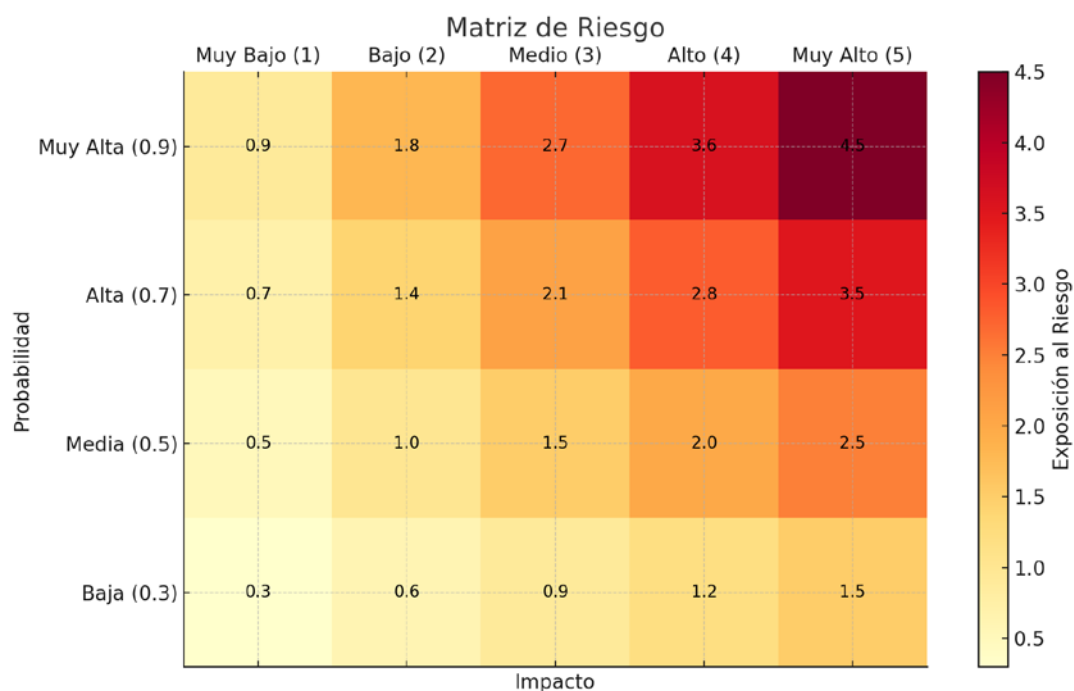


Ilustración 11. Matriz de Riesgo. Elaboración propia

Al aplicar la matriz de riesgo a los riesgos identificados, se obtiene la exposición al riesgo.

Riesgo	Grado de Exposición	Porcentaje Relativo (%)	Porcentaje Acumulado (%)
Subestimación de tiempos	3.6	26.67	26.67

Falta de validación médica	2.8	20.74	47.41
Problemas con IA	2.1	15.56	62.96
Fallos de rendimiento	2	14.81	77.78
Pérdida de datos	1.5	11.11	88.89

Tabla 21. exposición al riesgo. Elaboración propia

Utilizando los valores obtenidos del análisis de exposición al riesgo y aplicando el principio de Pareto, es posible identificar cuáles son los pocos riesgos críticos que concentran la mayor parte del impacto potencial sobre el proyecto. En particular, los riesgos asociados a la subestimación de tiempos, la falta de validación médica y los problemas técnicos en la integración de la inteligencia artificial representan más del 60 % del riesgo acumulado, por lo que deben ser priorizados en las estrategias de mitigación. Esta distinción permite enfocar los recursos y acciones preventivas sobre los factores con mayor influencia en el éxito del desarrollo, separándolos de aquellos riesgos de menor incidencia relativa.

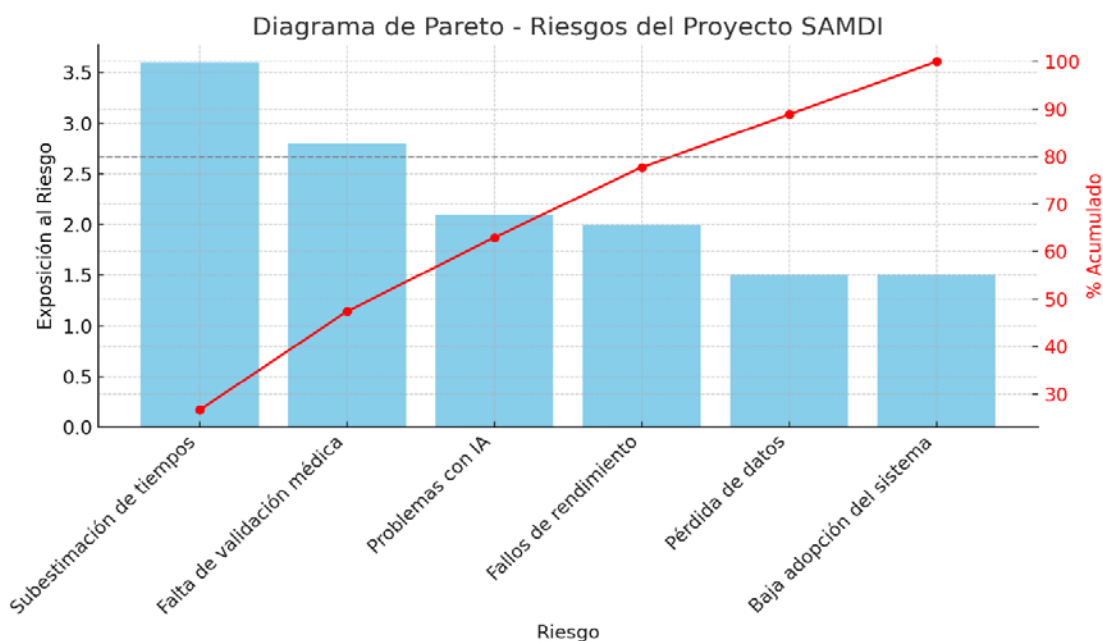


Ilustración 12. Diagrama de Pareto. Elaboración propia

A Continuación, se muestra el plan de contingencia en base a los riesgos plasmados en la matriz de riesgos.

Riesgo	Plan de Contingencia
Subestimación de tiempos	Revisión continua del cronograma y uso de metodologías ágiles con entregas parciales
Problemas con IA	Pruebas tempranas con diferentes modelos y revisión técnica iterativa
Fallos de rendimiento	Optimización del manejo de imágenes y pruebas de carga progresiva
Falta de validación médica	Incluir validación por especialistas en etapas clave y revisión de contenidos cargados
Pérdida de datos	Respaldos automáticos diarios y almacenamiento en servidores seguros
Baja adopción del sistema	Mejora de UX, tutoriales y estrategias de difusión en instituciones educativas
Riesgo	Plan de Contingencia

Tabla 22. plan de contingencia. Elaboración propia

Conclusiones

A lo largo de este proyecto, se desarrolló una aplicación web interactiva orientada a fortalecer la formación en diagnóstico por imágenes, abordando la problemática de la limitada práctica clínica autónoma en entornos educativos tradicionales. Desde el inicio, se detectó que la enseñanza convencional, basada en clases teóricas y observación pasiva de casos, no ofrecía suficientes oportunidades para que los estudiantes pudieran ejercitar sus habilidades diagnósticas con retroalimentación inmediata.

La plataforma implementada permitió centralizar el acceso a estudios reales, categorizados por área clínica y nivel de dificultad, integrando preguntas generadas automáticamente a partir de los diagnósticos y proporcionando una devolución inmediata en cada práctica. Esta propuesta innovadora buscó mejorar el proceso de aprendizaje mediante la simulación de situaciones clínicas, promoviendo el razonamiento crítico y la toma de decisiones médicas fundamentadas.

Durante el desarrollo del sistema, se aplicaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería en Software, enfrentando desafíos tanto técnicos como funcionales. Se utilizó un stack tecnológico basado en HTML, CSS, JavaScript y Node.js, junto con una base de datos MySQL, para construir una aplicación adaptable y funcional. Además, se integraron bibliotecas específicas para optimizar la visualización de imágenes médicas, la navegación por casos y la evaluación del rendimiento de los estudiantes.

La metodología de trabajo empleada, basada en marcos ágiles como Scrum, permitió organizar las tareas en ciclos iterativos, priorizando funcionalidades clave en función de su impacto educativo. Se incorporaron medidas básicas de seguridad para resguardar los datos de acceso, y se establecieron respaldos periódicos para asegurar la continuidad del sistema. Asimismo, se identificaron y analizaron los principales riesgos del proyecto, elaborando estrategias de mitigación para cada uno de ellos.

Al finalizar el proyecto, se comprobó que una herramienta de estas características no solo es técnicamente viable, sino también altamente pertinente en el contexto actual de la educación médica. Se demostró que el uso de plataformas interactivas, basadas en inteligencia artificial y datos reales, puede complementar y enriquecer la formación tradicional, brindando a los estudiantes un entorno flexible, seguro y orientado al aprendizaje clínico significativo. Esto representa un avance en la manera de enseñar y adquirir competencias en el área del diagnóstico por imágenes, con un impacto positivo tanto para los futuros profesionales como para las instituciones formadoras.

Demo

Se incluye un enlace a la carpeta de Google Drive con todo el material complementario del prototipo: un video demostrativo del Sistema de Aprendizaje Médico en Diagnóstico por Imágenes y un documento de texto que contiene el acceso a las interfaces del sistema, al código fuente del proyecto y las instrucciones sobre cómo configurar los entornos necesarios para ejecutarlo.

<https://drive.google.com/drive/folders/1fr8WpWZPFyvnsLCvqJgLVf2HV06yJRK8?usp=sharing>

Referencias

- Amboss. (s.f.). *Medical Knowledge Platform*. Recuperado de <https://www.amboss.com>
- Artoon Solutions. (2024). *Why choose React Native Paper for Material Design UI?* <https://artoonsolutions.com>
- AWS. (s.f.). *JavaScript overview*. <https://aws.amazon.com/javascript>
- Aycan OsiriX. (s.f.). *Medical image viewer for macOS*. Recuperado de <https://www.osirix-viewer.com>
- Brant, W. E., & Helms, C. A. (2012). *Fundamentals of diagnostic radiology* (4.^a ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Flores, M. (2022). *Introducción a Visual Studio Code*. Editorial Tecnología Abierta.
- García de Zúñiga, L. (2024). *Gestión de bases de datos en proyectos educativos con MySQL*. Universidad Nacional.
- Gonzalez, A. (2023). *Diseño de interfaces modernas con Material UI*. Ediciones Web Frontend.
- Harden, R. M., & Crosby, J. R. (2000). AMEE Guide No. 20: The good teacher is more than a lecturer—The twelve roles of the teacher. *Medical Teacher*, 22(4), 334–347. <https://doi.org/10.1080/014215900409429>
- Kinsta. (2023). *jQuery vs JavaScript: What's the difference?* <https://kinsta.com>
- National Library of Medicine. (2013). *Health professionals and technology*. U.S. National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- Organización Mundial de la Salud. (2024a). *El papel de la tecnología médica en la cobertura sanitaria universal*. Recuperado de <https://www.who.int>

Organización Mundial de la Salud. (2024b). *Fortalecimiento de la capacidad en materia de diagnóstico por imagen (Documento EB156/CONF./17)*. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB156/B156_CONF17-sp.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2024c). *Fortalecimiento de la capacidad en materia de diagnóstico por imagen*. <https://apps.who.int>

Radiopaedia. (s.f.). *Radiopaedia.org, the Wiki for Radiology*. Recuperado de <https://radiopaedia.org>

Sociedad Europea de Radiología. (2019). Undergraduate education in radiology. *Insights into Imaging*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/s13244-019-0804-9>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide*. <https://scrumguides.org>

Trello. (s.f.). *Qué es Trello y cómo usarlo*. <https://trello.com>