

Sistema inteligente de agendamiento de citas médicas para EPS e IPS en Quibdó

Weymar Hurtado Gonzalez

Asesor

Jorge Eliecer Ospino Portillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Sociales Artes y Humanidades ECSAH

Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2025

Nota de Aceptación

El presente trabajo de grado, titulado “Sistema inteligente de agendamiento de citas médicas con para EPS e IPS en Quibdó”, ha sido aprobado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Ciencia de Datos y Analítica. Este proyecto fue revisado y aprobado por el (la) director(a) asignado(a) y cumple con los estándares académicos y científicos exigidos por el programa de posgrado.

Jorge Eliecer Ospino Portillo

Nombre Director de Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para culminar este importante paso en mi formación profesional. A mi familia, en especial a mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis amigos y colegas, por sus palabras de aliento, su compañía en los momentos difíciles y por hacer de este camino una experiencia más llevadera y enriquecedora y a la ciudad de Quibdó, por inspirar esta investigación y por recordarme cada día la importancia de contribuir al bienestar de nuestras comunidades a través del conocimiento.

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por concederme la salud, la sabiduría y la constancia necesarias para alcanzar esta meta académica.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por ser mi motor en los momentos de dificultad y por creer en mí incluso cuando yo dudé. Su amor y compañía han sido fundamentales en este proceso.

A mi director(a) de trabajo de grado, Jorge Eliecer Ospino Portillo, por su guía, compromiso y orientación académica durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y disposición marcaron una diferencia significativa en la calidad de este proyecto.

A los docentes del programa de especialización, por compartir su conocimiento con rigor y pasión, y por motivarme a ir más allá de los límites convencionales.

A mis compañeros de estudio, por el compañerismo, los aprendizajes compartidos y el espíritu de colaboración que hicieron de este recorrido una experiencia enriquecedora.

Finalmente, agradezco a las instituciones que facilitaron el acceso a la información necesaria para el desarrollo de este trabajo, y a la ciudad de Quibdó, por ser el punto de inspiración y análisis de esta propuesta.

Resumen

En la ciudad de Quibdó, los usuarios de las EPS e IPS enfrentan múltiples dificultades para acceder a citas médicas de manera ágil y eficiente. Las largas filas que generan aglomeraciones y riesgos de seguridad, la congestión en las líneas telefónicas y la limitada capacidad de los sistemas administrativos ocasionan retrasos en la atención, frustración en los pacientes y un alto índice de inasistencias. Estos factores afectan directamente la calidad del servicio de salud y la oportunidad de los diagnósticos y tratamientos.

El presente trabajo de grado tiene como propósito diseñar e implementar un sistema inteligente de agendamiento de citas médicas apoyado en técnicas de Machine Learning, con el fin de optimizar la gestión de agendas en EPS e IPS de Quibdó. La propuesta contempla el uso de modelos predictivos para anticipar la demanda de citas y predecir el riesgo de inasistencia, lo que permitirá aplicar estrategias de recordatorios inteligentes y sobre-reserva controlada. Asimismo, integra canales accesibles como una aplicación web, WhatsApp, de modo que los pacientes puedan acceder al servicio con independencia de sus recursos tecnológicos.

Desde el ámbito académico, el proyecto se enmarca en la línea de profundización en ciencia de datos y analítica, generando un caso práctico de aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a un problema social de gran relevancia. A nivel práctico, busca aportar una solución innovadora que mejore la satisfacción de los usuarios, reduzca la carga operativa del personal administrativo y aumente la eficiencia en el uso de los recursos médicos disponibles.

Los resultados esperados incluyen un prototipo funcional del sistema, una reducción significativa en los índices de mejoras en los tiempos de respuesta para la asignación de citas y una percepción más positiva del servicio por parte de los pacientes. Asimismo, el proyecto

plantea bases sólidas para un posible emprendimiento en salud digital que pueda escalar a otras ciudades con condiciones similares a las de Quibdó.

Palabras clave: Atención médica, Programación de citas, Aprendizaje automático, Salud digital, Quibdó

Abstract

Access to timely and efficient healthcare services is a fundamental right that directly affects people's well-being and quality of life. In the city of Quibdó, patients of Health Promoting Entities (EPS) and Healthcare Provider Institutions (IPS) face serious challenges when scheduling medical appointments. Long queues that force patients to arrive early in unsafe conditions, congested phone lines, inefficient administrative systems, and high rates of no-shows are among the most critical issues.

This undergraduate research project proposes the design and implementation of an intelligent appointment scheduling system based on Machine Learning techniques to optimize healthcare management in EPS and IPS in Quibdó. The proposed system will include accessible digital channels such as a responsive web application, WhatsApp to guarantee inclusivity for all users, regardless of their technological resources. Predictive models will be applied to identify patterns of attendance and non-attendance, anticipate service demand, and implement smart reminders that reduce no-shows.

From an academic perspective, the project is framed within the Machine Learning specialization line, applying classification and prediction models to a real social problem. Practically, it seeks to improve user satisfaction, reduce administrative workload, and optimize medical agendas.

The expected results include a functional prototype of the system, a significant reduction in appointment scheduling response times, and a more positive patient perception of the service. Furthermore, the project lays a solid foundation for a potential digital health venture that could scale to other cities with similar conditions to Quibdó.

Keywords: Healthcare, Appointment Scheduling, Machine Learning, Digital Health,
Quibdó

Tabla de Contenido

Introducción	11
Justificación	13
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Marco de Referencias	16
Marco Teórico	16
Salud Digital y Sistemas de Información en Salud	16
Gestión de Citas Médicas y Problemáticas Asociadas	16
Machine Learning Aplicado al Sector salud.....	17
Analítica de Datos y Canales de Interacción	17
Relevancia Académica y Social.....	17
Marco Conceptual.....	18
EPS (Entidades Promotoras de Salud).....	18
IPS (Instituciones Prestadoras de Salud)	18
Salud Digital	18
Agendamiento de Citas Médicas	19
No-Show (Inasistencia a la Cita)	19
Machine Learning (Aprendizaje Automático).....	19
IVR (Interactive Voice Response).....	19
WhatsApp	20
Ciencia de Datos	20

	10
Metodología.....	20
Tipo de Estudio.....	20
Recolección de Datos	20
Modelado con Machine Learning.....	21
Desarrollo del Prototipo.....	21
Validación y Pruebas Piloto.....	22
Cronograma de Actividades	22
Herramientas y Recursos Técnicos.....	22
Conclusiones.....	23
Recomendaciones	25
Referencias.....	27

Introducción

El acceso oportuno y eficiente a los servicios de salud constituye un pilar fundamental para garantizar el bienestar de la población. En la ciudad de Quibdó, capital del departamento del Chocó, los usuarios de las Entidades Promotoras de Salud (EPS) y las Instituciones Prestadoras de Salud (IPS) enfrentan serias dificultades en los procesos de agendamiento de citas médicas. Las largas filas presenciales que obligan a los pacientes a madrugar y exponerse a riesgos de seguridad, la saturación de líneas telefónicas y los sistemas administrativos poco eficientes generan barreras significativas para la atención oportuna. Estas limitaciones no solo afectan la calidad del servicio percibida por los usuarios, sino que también impactan directamente en su salud al retrasar diagnósticos y tratamientos.

En este contexto, la transformación digital representa una oportunidad para mejorar la gestión de citas y optimizar los recursos del sistema de salud local. Las tecnologías basadas en ciencia de datos y Machine Learning permiten desarrollar soluciones inteligentes que no solo automatizan el proceso de agendamiento, sino que además incorporan capacidades predictivas para anticipar la demanda, reducir las inasistencias y recomendar alternativas de horarios más eficientes.

El presente trabajo de grado se centra en el diseño e implementación de un prototipo de sistema inteligente de agendamiento de citas médicas adaptado al contexto de Quibdó. La propuesta integra canales accesibles como aplicaciones web, WhatsApp e IVR, buscando incluir a toda la población independientemente de su nivel de acceso tecnológico. A través de algoritmos de aprendizaje automático, el sistema pretende identificar patrones de asistencia y no asistencia, con el fin de generar recordatorios personalizados y estrategias de sobre-reserva controlada que maximicen el aprovechamiento de la capacidad instalada en EPS e IPS.

Desde la perspectiva académica, este proyecto se enmarca en la línea de profundización en Machine Learning, aplicando modelos de clasificación y predicción a un problema real de interés social. De esta manera, se busca no solo aportar al campo de la ciencia de datos aplicada a la salud, sino también generar un impacto positivo en la comunidad al proponer una solución innovadora y viable a una necesidad urgente.

La introducción de este sistema inteligente representa, en consecuencia, una oportunidad para transformar el proceso de agendamiento en Quibdó, mejorar la experiencia de los usuarios y contribuir al fortalecimiento del sistema de salud en la región.

Justificación

El acceso a los servicios de salud en condiciones de oportunidad y calidad es un derecho fundamental que impacta de manera directa en el bienestar y la calidad de vida de la población. En Quibdó, los procesos actuales de agendamiento de citas médicas presentan múltiples dificultades: largas filas que generan aglomeraciones y riesgos de seguridad, demoras en líneas telefónicas, sistemas de información poco eficientes y una baja capacidad de respuesta ante la alta demanda de los usuarios. Estas limitaciones provocan frustración en la comunidad, retrasos en diagnósticos y tratamientos, así como un elevado índice de inasistencia a las citas médicas programadas.

Ante este panorama, surge la necesidad de diseñar e implementar soluciones innovadoras que optimicen la gestión de citas en las EPS e IPS locales. El uso de tecnologías basadas en ciencia de datos y Machine Learning ofrece una oportunidad única para mejorar la asignación de recursos médicos, anticipar la demanda de servicios y reducir significativamente los niveles de ausentismo. Además, la integración de canales de acceso accesibles, como aplicaciones web, WhatsApp e IVR, garantiza mayor inclusión digital en una ciudad con limitaciones de conectividad y diversidad en el uso de dispositivos tecnológicos.

Desde el ámbito académico, este proyecto se justifica porque permite aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos en la línea de profundización en Machine Learning, generando un aporte real al campo de la salud digital. La propuesta no solo constituye un ejercicio de innovación tecnológica, sino que también se enmarca en un contexto social urgente, aportando a la transformación de procesos críticos en el sector salud.

En términos prácticos, la implementación de un sistema inteligente de agendamiento contribuirá a mejorar la satisfacción de los usuarios, reducir la carga operativa del personal

administrativo y optimizar el uso de las agendas médicas en las instituciones. En el mediano plazo, puede convertirse en un modelo escalable para otras ciudades con características similares, consolidándose como una herramienta de emprendimiento en el ámbito de la salud digital en Colombia.

En consecuencia, este proyecto se justifica tanto por su impacto social y comunitario, como por su pertinencia académica y potencial de innovación, al proponer una solución que responde a una necesidad prioritaria en la ciudad de Quibdó mediante la aplicación de técnicas avanzadas de ciencia de datos y aprendizaje automático.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema inteligente de agendamiento de citas médicas para EPS e IPS en Quibdó, empleando modelos de Machine Learning para optimizar la gestión y reducir el ausentismo

Objetivos Específicos

- caracterizar el proceso actual de asignación de citas en la ciudad
- recopilar y analizar datos de disponibilidad, demanda y asistencia de los pacientes
- aplicar modelos de clasificación para predecir inasistencias y series temporales para anticipar la demanda
- desarrollar un prototipo accesible para pacientes y personal médico
- evaluar el impacto del sistema en un entorno piloto

Marco de Referencias

Marco Teórico

El presente proyecto se enmarca en la intersección entre la gestión de servicios de salud y las tecnologías emergentes de ciencia de datos, específicamente el Machine Learning. Para sustentar su desarrollo, se revisan los principales aportes teóricos y conceptuales en tres ejes: salud digital, modelos predictivos aplicados a la gestión de citas médicas y herramientas de analítica de datos.

Salud Digital y Sistemas de Información en Salud

La salud digital se define como la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la atención sanitaria, con el objetivo de mejorar el acceso, la eficiencia y la calidad de los servicios (OMS, 2021). En Colombia, la transformación digital del sector salud ha avanzado con la implementación de plataformas como *MiVacuna* y la adopción de historia clínica electrónica. Sin embargo, aún existen brechas significativas en ciudades como Quibdó, donde la infraestructura tecnológica es limitada y los procesos administrativos suelen ser manuales. Esto justifica el diseño de soluciones adaptadas al contexto local, que permitan mejorar el acceso a las citas médicas.

Gestión de Citas Médicas y Problemáticas Asociadas

El agendamiento de citas constituye un proceso crítico en la gestión de servicios de salud, pues influye directamente en la oportunidad de la atención y en la satisfacción del paciente. Diversos estudios han identificado problemas recurrentes como la saturación de líneas telefónicas, las largas filas presenciales y los altos índices de inasistencia o *no-show* (Bashshur et al., 2016). Estos factores generan ineficiencia en el uso de los recursos médicos, retrasos en diagnósticos y un incremento de costos administrativos. La literatura plantea que el uso de

sistemas automatizados y predictivos puede contribuir a mitigar estas dificultades (Gupta & Denton, 2008).

Machine Learning Aplicado al Sector salud

El Machine Learning (ML), rama de la inteligencia artificial, se centra en el desarrollo de algoritmos que aprenden a partir de datos para realizar predicciones o clasificaciones. En el campo de la salud, el ML ha sido aplicado en áreas como el diagnóstico médico, la personalización de tratamientos y la optimización de recursos hospitalarios (Shickel et al., 2017). Particularmente, en la gestión de citas, los modelos de clasificación supervisada —como la regresión logística, los árboles de decisión, Random Forest y XGBoost— permiten predecir la probabilidad de que un paciente asista o no a una cita. Estos modelos ofrecen métricas como la precisión, el recall y la curva ROC, que permiten evaluar su efectividad en contextos reales.

Analítica de Datos y Canales de Interacción

El desarrollo de un sistema de agendamiento inteligente requiere integrar no solo modelos predictivos, sino también herramientas de analítica de datos que permitan monitorear en tiempo real el comportamiento de los usuarios, identificar patrones de demanda y generar reportes para la toma de decisiones administrativas. Asimismo, la literatura reciente recomienda el uso de canales accesibles e inclusivos, como aplicaciones web responsivas, mensajería por WhatsApp y sistemas de IVR (Interactive Voice Response), que garantizan la cobertura en contextos con limitaciones de conectividad (Kumar et al., 2020).

Relevancia Académica y Social

La base teórica revisada demuestra que el uso de Machine Learning en la gestión de citas médicas no solo es técnicamente viable, sino que tiene un impacto directo en la calidad del servicio y en la experiencia del paciente. Para Quibdó, este marco teórico se traduce en la

necesidad de adaptar tecnologías probadas en otros contextos a la realidad local, contribuyendo tanto al campo académico de la ciencia de datos como al mejoramiento del sistema de salud regional.

Marco Conceptual

Los conceptos centrales que orientan este trabajo son los siguientes, definidos en función de su relevancia para el análisis del fenómeno de la inseguridad en Quibdó:

EPS (Entidades Promotoras de Salud)

Son las instituciones responsables de afiliar a los usuarios al sistema de salud en Colombia, administrar los recursos y garantizar el acceso a los servicios de atención médica. En el proyecto, las EPS son actores fundamentales, ya que gran parte de la población de Quibdó se encuentra afiliada a una de ellas y depende de sus procesos de agendamiento de citas.

IPS (Instituciones Prestadoras de Salud)

Son las clínicas, hospitales y centros médicos encargados de prestar directamente los servicios de salud. En este estudio, las IPS constituyen el escenario principal de aplicación, dado que son las que reciben la demanda de pacientes y requieren optimizar la gestión de sus agendas médicas.

Salud Digital

Hace referencia al uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar los servicios de salud, ampliando el acceso, reduciendo costos y aumentando la eficiencia. La salud digital abarca telemedicina, historia clínica electrónica, plataformas de agendamiento y sistemas predictivos basados en datos. En este proyecto, representa el enfoque innovador que permite proponer soluciones ajustadas a las condiciones de Quibdó.

Agendamiento de Citas Médicas

Proceso administrativo mediante el cual los pacientes solicitan, programan o cancelan citas médicas. Es un punto crítico en la experiencia del usuario y en la eficiencia de las IPS, ya que problemas como la congestión, las largas filas y los retrasos generan insatisfacción y sobrecarga en el sistema. El proyecto busca transformar este proceso a través de una plataforma inteligente.

No-Show (Inasistencia a la Cita)

Se refiere a la ausencia del paciente en la cita médica previamente programada sin previo aviso. Este fenómeno afecta negativamente la productividad de los profesionales, incrementa los costos de las instituciones y retrasa la atención de otros pacientes. En el proyecto, el “no-show” se convierte en una variable central a predecir mediante modelos de Machine Learning.

Machine Learning (Aprendizaje Automático)

Es un campo de la inteligencia artificial que desarrolla algoritmos capaces de aprender patrones a partir de datos y generar predicciones o clasificaciones. En esta propuesta, el Machine Learning será utilizado para anticipar inasistencias y picos de demanda, con el fin de recomendar estrategias de recordatorios inteligentes y sobre-reserva controlada.

IVR (Interactive Voice Response)

Es un sistema de respuesta de voz interactiva que permite a los usuarios acceder a información o realizar transacciones a través de un menú telefónico automatizado. En el proyecto, el IVR representa un canal de interacción alternativo para los pacientes que no cuentan con internet o dispositivos móviles avanzados.

WhatsApp

Aplicación de mensajería instantánea ampliamente utilizada en Colombia, que se convierte en un canal accesible y familiar para el agendamiento y confirmación de citas médicas. Su integración en el sistema garantiza inclusión y practicidad para los usuarios de Quibdó.

Ciencia de Datos

Disciplina que combina técnicas estadísticas, matemáticas y computacionales para extraer conocimiento a partir de datos. Dentro del proyecto, la ciencia de datos ofrece los métodos necesarios para procesar la información de citas médicas y alimentar los modelos de Machine Learning.

Metodología

La metodología de este proyecto combina enfoques de ciencia de datos, analítica predictiva y desarrollo de prototipos tecnológicos, con el fin de diseñar e implementar un sistema inteligente de agendamiento de citas médicas. Se estructura en varias fases interrelacionadas que garantizan la coherencia entre los objetivos planteados y los resultados esperados.

Tipo de Estudio

El trabajo se desarrolla como un proyecto aplicado con enfoque cuantitativo y exploratorio-descriptivo. Aplicado, porque busca ofrecer una solución práctica a una necesidad real en las EPS e IPS de Quibdó; cuantitativo, porque utiliza datos históricos y métricas para validar los modelos; y exploratorio-descriptivo, porque se analizan patrones y comportamientos de los usuarios en relación con la gestión de citas.

Recolección de Datos

Se recopilarán datos de dos fuentes principales:

Bases históricas de citas médicas en EPS e IPS (cuando sea posible), que incluyen información sobre fecha, especialidad, estado de asistencia (asistió/no-show), canal de agendamiento y cancelaciones.

Datos complementarios simulados o públicos, en caso de limitaciones de acceso, para entrenar modelos iniciales.

VARIABLES DE INTERÉS: edad del paciente (agrupada), tipo de cita, tiempo entre agendamiento y atención, franja horaria, día de la semana, historial de asistencia, reprogramaciones previas y contexto externo (festivos, clima).

Modelado con Machine Learning

Con el fin de predecir la inasistencia de pacientes y optimizar la asignación de citas, se implementarán modelos de Machine Learning supervisados:

Regresión logística como modelo base.

Árboles de decisión, Random Forest y XGBoost, para mejorar precisión y capacidad de generalización.

Métricas de evaluación: precisión, recall, F1-score y AUC-ROC, priorizando la capacidad de identificar correctamente los casos de no-show.

Desarrollo del Prototipo

Se construirá un prototipo de plataforma digital de agendamiento utilizando herramientas de desarrollo rápido. El sistema incluirá:

Portal web para pacientes.

Canal de WhatsApp como alternativas de acceso.

Recordatorios automáticos personalizados según el riesgo de inasistencia predicho.

Panel de control para el personal administrativo con indicadores clave.

Validación y Pruebas Piloto

El prototipo será probado en un entorno controlado, ya sea con datos simulados o en colaboración con una IPS local, para evaluar:

Reducción del índice de inasistencias.

Disminución en los tiempos de asignación de citas.

Satisfacción de usuarios (medida mediante encuestas breves).

Cronograma de Actividades

La ejecución se plantea en un periodo de 12 semanas, distribuidas en:

Semanas 1–2: recolección y limpieza de datos.

Semanas 3–4: análisis exploratorio.

Semanas 5–7: entrenamiento y validación de modelos.

Semanas 8–10: desarrollo del prototipo.

Semanas 11–12: pruebas piloto, ajustes y redacción del informe final.

Herramientas y Recursos Técnicos

Software: Django, PostgreSQL para base de datos, N8N para whatsapp.

Infraestructura: servidor en la nube para despliegue del modelo y la plataforma.

Recursos humanos: estudiante investigador, asesor académico.

Conclusiones

El desarrollo de un sistema inteligente de agendamiento de citas médicas constituye una alternativa viable y necesaria para enfrentar las dificultades actuales en el acceso a los servicios de salud en Quibdó. La problemática identificada, caracterizada por largas filas presenciales, congestión en las líneas telefónicas y altos índices de inasistencia, demuestra la urgencia de soluciones innovadoras que optimicen los procesos administrativos y fortalezcan la experiencia de los usuarios.

El análisis realizado permitió evidenciar que el uso de modelos predictivos puede contribuir de manera significativa a la reducción del ausentismo, al anticipar la probabilidad de inasistencia de los pacientes y permitir la implementación de estrategias como recordatorios personalizados y sobre-reserva controlada. Esta capacidad predictiva, complementada con el desarrollo de un prototipo accesible a través de plataformas web, WhatsApp , garantiza una mayor inclusión tecnológica en la población, respondiendo a las condiciones sociales y de conectividad de Quibdó.

Desde el punto de vista académico, el proyecto representa un aporte al campo de la ciencia de datos aplicada a la salud, demostrando cómo los algoritmos de Machine Learning pueden utilizarse no solo en diagnósticos médicos avanzados, sino también en procesos administrativos clave. Esto reafirma la pertinencia de integrar enfoques interdisciplinarios entre tecnología y salud pública.

Asimismo, los resultados esperados —como la reducción del tiempo de agendamiento, la mejora en la ocupación de las agendas médicas y el aumento en la satisfacción de los usuarios— confirman el potencial del sistema como base para un emprendimiento de salud digital

(HealthTech) en Quibdó, con posibilidad de escalabilidad hacia otras regiones con problemáticas similares.

En conclusión, la propuesta no solo busca mejorar la eficiencia de las EPS e IPS, sino que también promueve la equidad en el acceso a los servicios de salud, la modernización de los procesos en el sector y el aprovechamiento de la analítica de datos en contextos sociales de alta necesidad.

Recomendaciones

A partir del desarrollo y evaluación del sistema de agendamiento médico, se considera pertinente fortalecer la infraestructura tecnológica que soporta la plataforma. Para ello, se recomienda migrar hacia un entorno de producción estable que integre servidores especializados y configuraciones avanzadas que garanticen altos niveles de disponibilidad, rendimiento y seguridad. Esto permitirá responder adecuadamente a las demandas operativas de los usuarios y asegurar la continuidad del servicio.

Asimismo, se sugiere implementar programas de capacitación periódica dirigidos al personal médico, administrativo y de recepción. Este proceso de formación permitirá que los usuarios comprendan con claridad el funcionamiento del sistema, lo utilicen de manera adecuada y minimicen errores durante el proceso de agendamiento y atención de pacientes. La capacitación complementa el componente tecnológico y garantiza una apropiación adecuada de la herramienta.

En cuanto a la evolución del sistema, se recomienda ampliar los módulos actualmente desarrollados mediante la incorporación de funcionalidades adicionales, tales como un registro básico de historia clínica, administración de medicamentos o reportes detallados de inasistencias. Estas mejoras no solo incrementarían la utilidad de la plataforma, sino que aportarían información valiosa para la toma de decisiones clínicas y administrativas.

Desde la perspectiva de seguridad informática, se considera pertinente reforzar los mecanismos de autenticación mediante la integración de tecnologías como la verificación en dos pasos. Esta medida contribuirá a proteger los datos sensibles de los pacientes y reducirá el riesgo de accesos no autorizados. En línea con lo anterior, también se sugiere optimizar el manejo de

datos dentro del sistema, incorporando validaciones automáticas y mecanismos de control que aseguren la calidad, consistencia y fiabilidad de la información almacenada.

Por otra parte, se recomienda establecer un plan de monitoreo y mantenimiento continuo que contemple la revisión del servidor, la actualización del software utilizado y el análisis sistemático de los registros de actividad. Este proceso permitirá detectar fallos oportunamente, mejorar la estabilidad del sistema y prolongar su vida útil en entornos reales de funcionamiento.

Si el sistema incorpora un modelo predictivo para estimar la probabilidad de inasistencia de citas médicas, resulta conveniente realizar evaluaciones periódicas de dicho modelo. El reentrenamiento con nuevos datos y el ajuste de parámetros permitirá mantener un nivel de precisión adecuado frente a las variaciones en los patrones de comportamiento de los pacientes.

De igual manera, se considera pertinente realizar mejoras orientadas a optimizar la experiencia del usuario. La aplicación de pruebas de usabilidad con pacientes, médicos y personal administrativo facilitará la identificación de oportunidades de mejora en cuanto a navegación, claridad de los formularios y adaptación a dispositivos móviles, aspectos esenciales para fomentar el uso adecuado de la plataforma.

Finalmente, se recomienda fortalecer los canales de comunicación con los usuarios mediante la integración de sistemas de mensajería como SMS o correo electrónico. La incorporación de recordatorios automatizados contribuye a reducir las tasas de inasistencia y mejora la eficiencia operativa del servicio. Del mismo modo, se sugiere considerar la escalabilidad del sistema para permitir la inclusión futura de nuevas especialidades, funcionalidades y sedes sin requerir modificaciones estructurales significativas.

Referencias

- Bashshur, R., Shannon, G., Krupinski, E., & Grigsby, J. (2016). The empirical foundations of telemedicine interventions for chronic disease management. *Telemedicine and e-Health*, 22(5), 342–375. <https://doi.org/10.1089/tmj.2015.0206>
- Gupta, D., & Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*, 40(9), 800–819. <https://doi.org/10.1080/07408170802165880>
- Kumar, A., Singh, J. P., & Dwivedi, Y. K. (2020). Telemedicine: Current scenario and the future. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, 22(3), 1–14. <https://doi.org/10.1080/15228053.2020.1838534>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
- Shickel, B., Tighe, P. J., Bihorac, A., & Rashidi, P. (2017). Deep EHR: A survey of recent advances in deep learning techniques for electronic health record (EHR) analysis. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22(5), 1589–1604. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2017.2767063>
- Topol, E. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Acuña, S. T., & Cechich, A. (2018). *Fundamentos de ingeniería de software*. Alfaomega.
- Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2021). *Software architecture in practice* (4.^a ed.). Addison-Wesley.
- Beizer, B. (2009). *Software testing techniques* (2.^a ed.). Dreamtech Press.

- Berndtsson, M., Hansson, J., Olsson, B., & Lundell, B. (2008). *Thesis projects: A guide for students in computer science and information systems* (2.^a ed.). Springer.
- Django Software Foundation. (2025). *Django documentation*. <https://docs.djangoproject.com/>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using Python*. SAGE.
- Fowler, M. (2019). *Refactoring: Improving the design of existing code* (2.^a ed.). Addison-Wesley.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Hevner, A., March, S., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105.
- Jakob Nielsen. (2020). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- Kurose, J., & Ross, K. (2021). *Computer networking: A top-down approach* (8.^a ed.). Pearson.
- McKinney, W. (2022). *Python for data analysis: Data wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter* (3.^a ed.). O'Reilly Media.
- MySQL Documentation. (2025). *MySQL 8.0 reference manual*. <https://dev.mysql.com/doc/>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things* (rev. ed.). Basic Books.
- Pressman, R. S., & Maxim, B. (2020). *Ingeniería de software: Un enfoque práctico* (8.^a ed.). McGraw-Hill.
- Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., & Elmqvist, N. (2017). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction* (6.^a ed.). Pearson.
- Tan, P.-N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2019). *Introduction to data mining* (2.^a ed.). Pearson.
- Wang, Y., Kung, L., & Byrd, T. A. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3–13.