

Simulación de asignación y distribución de medicamentos de acuerdo a la demanda

Juan Esteban Oviedo Sandoval - 20192020064
jeoviedos@udistrital.edu.co

Resumen—La asignación y distribución eficiente de medicamentos constituye un proceso fundamental para el adecuado funcionamiento de los sistemas de salud, pues influye en la continuidad del tratamiento, la experiencia del paciente y los costos operativos de las instituciones médicas. Los métodos tradicionales de dispensación presentan problemas como tiempos de espera prolongados, congestión en farmacias, errores humanos y falta de visibilidad sobre el estado del pedido. En respuesta, investigaciones recientes incluyendo modelos de optimización logística, sistemas IoT, mecanismos automáticos de dispensación y esquemas híbridos de entrega han demostrado reducciones significativas en costos y mejoras en la eficiencia del servicio. Este proyecto propone el diseño de una aplicación móvil y un sistema *backend* que optimizan la solicitud, preparación y entrega de medicamentos, con un enfoque en la disminución de costos y la mejora de la accesibilidad para pacientes con movilidad reducida. La propuesta se fundamenta en estudios de revistas indexadas Q1 y Q2, validando la pertinencia y solidez académica del desarrollo planteado.

Abstract—The efficient allocation and distribution of medications is a critical component of modern healthcare systems, directly influencing treatment continuity, patient satisfaction, and operational costs. Traditional medication dispensing processes in hospitals and medical centers often suffer from long waiting times, bottlenecks in pharmacy areas, human errors during prescription handling, and limited transparency for patients. Recent advances in health logistics, including automated dispensing systems, Internet of Things (IoT) solutions, hybrid delivery models, and route optimization techniques, have shown significant potential to reduce operational costs and improve service quality. This project proposes the design and development of a mobile application and backend platform aimed at optimizing the medication request, preparation, and delivery workflow. Supported by studies published in high-impact journals (Q1–Q2), this work emphasizes cost reduction, process automation, and improved accessibility for patients with mobility limitations. The resulting system aims to streamline operations within medical centers and provide a more efficient and user-centered pharmaceutical service.

I. INTRODUCCIÓN

La correcta asignación y distribución de medicamentos es un componente esencial para el funcionamiento eficiente de los sistemas de salud, ya que impacta directamente en la continuidad del tratamiento, la experiencia del paciente y los costos operativos de clínicas y hospitales. Los métodos tradicionales de dispensación presentan múltiples limitaciones como tiempos de espera prolongados, congestión en farmacias, errores humanos en la preparación de pedidos y escasa visibilidad del estado de la solicitud.

La literatura reciente propone diversas soluciones tecnológicas y logísticas para abordar estos desafíos. Por ejemplo, los modelos híbridos de distribución que combinan conveniencia, lockers y entrega a domicilio han demostrado mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en procesos de última milla [1]. A nivel de cadena

de suministro, la integración de sincronización de medicamentos con esquemas mixtos de entrega permite reducir costos en cadenas farmacéuticas sensibles, especialmente aquellas que requieren control de temperatura [2].

Asimismo, los estudios sobre optimización logística en servicios de salud muestran que técnicas como el *location-routing* y la programación matemática contribuyen a minimizar costos y mejorar la disponibilidad de medicamentos [3]. En contextos operativos reales, la incorporación de modelos de ruteo dinámico ha demostrado reducir tiempos de entrega y mejorar la capacidad de respuesta en la distribución farmacéutica [4]. De manera complementaria, soluciones centradas en la entrega urgente de medicamentos y estrategias de última milla fortalecen la atención de pacientes con limitaciones de movilidad o necesidades críticas [5].

Estos estudios evidencian que la incorporación de tecnologías avanzadas, modelos de optimización y sistemas de información permite diseñar mecanismos de distribución de medicamentos más eficientes, económicos y centrados en el paciente. En este proyecto se propone el diseño de un prototipo de aplicación móvil y un sistema *backend* que optimicen la solicitud, preparación y entrega de medicamentos, fundamentado en la literatura científica de alto impacto (Q1–Q2) y orientado principalmente a la reducción de costos y la mejora de la experiencia del usuario.

A. Formulación del Problema

En la actualidad, los usuarios de centros médicos, clínicas y hospitales (especialmente pacientes crónicos, de la tercera edad o con movilidad reducida) se enfrentan a una serie de inconvenientes al momento de adquirir sus medicamentos recetados. Estos problemas incluyen:

- **Tiempos de Espera Prolongados:** Después de una consulta, el paciente debe dirigirse a la farmacia, hacer una fila para entregar la receta, esperar a que preparen el pedido y luego hacer otra fila para pagar. Esto puede agregar más de una hora a su visita.
- **Congestión en Áreas Comunes:** Las farmacias de las centrales médicas suelen estar abarrotadas, generando estrés tanto para los pacientes como para el personal.
- **Dificultad para Pacientes con Movilidad Reducida:** Para personas mayores, discapacitadas o post-operadas, el desplazamiento físico dentro de un gran complejo médico puede ser una tarea difícil y dolorosa.
- **Ineficiencia en la Gestión de Pedidos:** El sistema tradicional de entrega manual de recetas y preparación bajo demanda es propenso a errores humanos (lectura de recetas, equivocación de medicamento) y no está optimizado para la gestión de múltiples pedidos de manera simultánea.
- **Falta de Seguimiento:** El paciente no tiene visibilidad del estado de su pedido una vez entregada la receta, generando incertidumbre.

Estos problemas evidencian la necesidad de un sistema que optimice el proceso de dispensación y entrega de medicamentos, mejorando la experiencia del usuario y la eficiencia operativa de la central médica mediante el uso de la tecnología.

B. Objetivos

1) *Objetivo General:* Diseñar e implementar un prototipo de aplicación móvil y un sistema *backend* que optimice el proceso de solicitud y entrega de medicamentos en una central médica.

2) *Objetivos Específicos:*

- 1) Desarrollar un módulo de usuario final (aplicación móvil) que permita a los pacientes:
 - Escanear o cargar digitalmente su receta médica.
 - Realizar el pedido de sus medicamentos de forma remota.
 - Realizar el pago de forma electrónica integrada.
 - Recibir notificaciones en tiempo real sobre el estado de su pedido.
 - Solicitar la entrega del pedido en un punto específico.
- 2) Desarrollar un módulo de administración (aplicación web o de escritorio) para el personal de la farmacia que permita:
 - Visualizar un *dashboard* con los pedidos entrantes en tiempo real.
 - Gestionar el estado de cada pedido.
 - Notificar automáticamente al usuario.
 - Gestionar una flota de mensajeros/entregadores.
- 3) Diseñar y modelar la arquitectura de red y comunicación del sistema, definiendo:
 - Los protocolos de comunicación.
 - La estructura de la base de datos.
 - Los mecanismos de seguridad para proteger los datos sensibles.

II. METODOLOGÍA

La metodología adoptada para el desarrollo del sistema de asignación y distribución de medicamentos se estructura en cinco fases fundamentales. Estas fases abarcan desde el análisis inicial del proceso hasta la validación del prototipo final, integrando tecnologías modernas, principios de ingeniería de software y técnicas avanzadas de inteligencia artificial. El enfoque metodológico se orienta principalmente a mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos del proceso logístico y brindar una experiencia más ágil y confiable para los pacientes.

A. Fase 1: Análisis del Proceso Actual

La primera fase consiste en un estudio profundo del funcionamiento actual de la dispensación de medicamentos dentro de un centro médico. Esta etapa incluye la observación directa del flujo de trabajo, la revisión de protocolos existentes y la caracterización de los pasos que sigue un paciente desde la emisión de una receta hasta la entrega del medicamento. Durante este análisis se identifican los puntos críticos como los tiempos prolongados de espera en la farmacia, la congestión en áreas de entrega, las demoras en la preparación de pedidos y la frecuencia de errores humanos derivados de la interpretación de recetas manuscritas. Paralelamente, se realizan entrevistas y encuestas al personal de la farmacia, médicos y pacientes, con el fin de comprender sus principales dificultades y validar necesidades reales. Esta información permite construir un diagnóstico claro que servirá como referencia para proponer soluciones que atiendan tanto a la reducción de costos como a la optimización del servicio.

B. Fase 2: Modelado del Sistema y Definición de Requerimientos

Una vez identificadas las debilidades del proceso actual, se procede a modelar el sistema objetivo mediante metodologías formales. En esta fase se definen los requerimientos funcionales y no funcionales que guiarán el desarrollo del sistema. Se elaboran diagramas UML, como casos de uso, diagramas de actividad y diagramas de secuencia, que permiten representar de manera precisa la interacción entre los distintos actores del sistema: pacientes, personal de farmacia,

mensajeros y módulos automatizados. Además, se diseña el modelo de datos que integrará la información relevante, tales como recetas médicas, estado de pedidos, inventario disponible, rutas de entrega y perfiles de usuarios. Este modelado contribuye a garantizar que el sistema propuesto sea interoperable, escalable y seguro, y que atienda de forma adecuada los flujos identificados durante el análisis inicial.

C. Fase 3: Diseño de la Arquitectura Tecnológica

En la tercera fase se construye la arquitectura tecnológica que soportará todos los componentes del sistema. Esta arquitectura incluye una plataforma *backend* basada en servicios REST, encargada de gestionar las operaciones esenciales como la validación de recetas, el registro de pedidos, la administración de inventarios y la comunicación entre pacientes y farmacia. Asimismo, se diseña una aplicación móvil destinada a los pacientes, desde la cual pueden cargar la receta digital, realizar el pedido, efectuar el pago y hacer seguimiento al estado del proceso. Por su parte, el personal de la farmacia contará con un panel administrativo en el que podrán visualizar los pedidos entrantes, cambiar su estado y coordinar la entrega. La arquitectura incorpora protocolos seguros de comunicación (como HTTPS y OAuth 2.0), además de mecanismos de cifrado para proteger información sensible. El objetivo principal es disponer de una infraestructura robusta y flexible que permita la integración con módulos de inteligencia artificial y futuras ampliaciones del sistema.

D. Fase 4: Integración de Técnicas de Inteligencia Artificial

La cuarta fase introduce la inteligencia artificial como un componente clave para la automatización y optimización del sistema. En primer lugar, se incluye un módulo de clasificación automática de recetas, basado en técnicas de visión computacional y modelos de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) mejorados con redes neuronales. Este módulo permite extraer información relevante de las recetas, validar su contenido y asociarlo con el inventario disponible, reduciendo los errores que se presentan en la lectura manual. En segundo lugar, se implementan modelos de aprendizaje automático orientados a la predicción de demanda de medicamentos. Estos modelos analizan patrones históricos de consumo, variaciones por temporada y tendencias por grupo poblacional, permitiendo anticipar picos de demanda y optimizar los niveles de inventario, lo cual contribuye a la reducción de costos operativos, tal como lo señalan estudios recientes [1], [2].

Además, se integran algoritmos inteligentes de optimización de rutas, como algoritmos genéticos, colonia de hormigas y técnicas de aprendizaje por refuerzo profundo. Estos métodos permiten generar rutas de entrega más eficientes, reducir tiempos de desplazamiento y minimizar el uso de recursos logísticos, siguiendo enfoques igualmente observados en la literatura [3], [4]. De manera complementaria, se introduce un sistema de recomendación que, en función del historial del paciente, genera recordatorios automáticos, sugiere fechas óptimas de reposición e incluso plantea planes periódicos de entrega, facilitando adherencia al tratamiento y mejorando la experiencia general del usuario.

E. Fase 5: Desarrollo del Prototipo y Validación

La fase final consiste en la implementación del prototipo funcional del sistema y su validación mediante pruebas controladas. El desarrollo se basa en las especificaciones definidas previamente, asegurando la correcta integración entre la aplicación móvil, el panel administrativo y los servicios del *backend*. Se realizan pruebas funcionales y de rendimiento para verificar que los módulos de IA, el manejo de inventario, los procesos de registro de pedidos y los flujos de comunicación operen de manera consistente. Posteriormente, se llevan a cabo pruebas piloto con usuarios reales o simulados, evaluando indicadores como la reducción del tiempo total de dispensación, la disminución de errores humanos, la eficiencia en la asignación de rutas de entrega y el nivel de satisfacción de los pacientes.

Finalmente, los resultados obtenidos se comparan con los datos del proceso tradicional, permitiendo medir de forma objetiva el impacto del sistema desarrollado y validar su potencial para implementarse en un entorno real.

REFERENCES

- [1] S. Suwatcharachaitiwong, C.-C. Lin, W. Huang, and L.-P. Hung, "On the medication distribution system for home health care through convenience stores, lockers, and home delivery," *Health Informatics Journal*, vol. 26, no. 4, pp. 2962–2978, 2020.
- [2] E. Potters, B. Mosalla Nezhad, V. Huiskes *et al.*, "Enhancing pharmaceutical cold supply chain: integrating medication synchronization and diverse delivery modes," *International Transactions in Operational Research*, 2024.
- [3] A. Lucchese *et al.*, "Minimization of the logistic costs in healthcare supply chain," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019.
- [4] J. M. Magalhães and J. Pinho de Sousa, "A dynamic vehicle routing problem in pharmaceutical distribution: a case study," *Central European Journal of Operations Research*, vol. 14, no. 1, pp. 77–96, 2006.
- [5] D. Kritchanchai *et al.*, "Enhancing home delivery of emergency medicine and last-mile solutions," *Journal of Healthcare Engineering*, 2024.