

**Prototipo de sistema de consulta con agentes de IA para verificación de
disponibilidad de medicamentos en fórmulas para prestadores de servicio de dispensación:
evaluación de viabilidad técnica**

Jhon Edison Betancurt Lora

Director

Jaime Rubiano Llorente

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Programa de Ingeniería de Sistemas

2026

Resumen

El presente proyecto se enfoca en resolver las ineficiencias del acceso a medicamentos recetados en Colombia, un problema que se manifiesta en largos tiempos de espera y falta de información para los pacientes. La solución es un prototipo funcional de un sistema de consulta, diseñado para optimizar la verificación de la disponibilidad de medicamentos en fórmulas médicas.

El sistema fue concebido con una arquitectura modular y se implementó en un entorno completamente local, utilizando tecnologías de código abierto para mantener un costo cero. La orquestación central de todos los flujos de trabajo se gestiona mediante n8n, que actúa como el motor que conecta cada componente. El corazón del sistema lo compone un agente de inteligencia artificial (IA), basado en el modelo multimodal de Gemini. Este agente es capaz de interpretar el lenguaje natural de los usuarios y extraer información clave de las fórmulas médicas.

La información extraída por la IA, como el número de documento del paciente, los nombres de los medicamentos y sus cantidades, se utiliza para consultar la disponibilidad en un sistema de inventario simulado, construido sobre una base de datos MySQL. El prototipo también incluye un módulo de agendamiento que genera enlaces de Calendly con los datos del paciente ya precargados, facilitando la programación de citas para la recogida de medicamentos. Para la confirmación de estos agendamientos, se desarrolló un flujo que revisa periódicamente un correo electrónico de notificación de Calendly, extrae los detalles de la cita con otro agente de IA y actualiza el stock apartado en la base de datos. La notificación al paciente se envía por WhatsApp, cerrando así el ciclo de la automatización.

El código para la lógica de los nodos de n8n se desarrolló en JavaScript, y la interfaz de usuario se implementó con HTML/CSS/JavaScript. Todo el entorno se ejecutó en Docker para garantizar

la portabilidad. El proyecto demuestra la viabilidad técnica de automatizar procesos críticos del sector farmacéutico, estableciendo un modelo de bajo costo que puede escalarse para mejorar la experiencia de pacientes y el rendimiento de los prestadores de servicios de dispensación.

Palabras clave: n8n, Agentes de IA, Gemini, MySQL, Docker, JavaScript, Medicamentos, Inventario, Agendamiento, Prototipo, Código abierto.

Abstract

This project focuses on resolving the inefficiencies of access to prescribed medications in Colombia, a problem that manifests in long waiting times and a lack of information for patients. The solution is a functional prototype of a consultation system, designed to optimize the verification of medication availability in medical prescriptions.

The system was conceived with a modular architecture and implemented in a completely local environment, using open-source technologies to maintain a zero cost. The central orchestration of all workflows is managed through n8n, which acts as the engine connecting each component. At the heart of the system is an AI agent, based on the multimodal Gemini model, capable of interpreting natural language and extracting key information from medical prescriptions.

The information extracted by the AI, such as the patient's document number, medication names, and quantities, is used to query an inventory system built on a MySQL database. The prototype also includes a scheduling module that generates Calendly links with pre-filled patient data, facilitating the scheduling of medication pick-up appointments. For the confirmation of these appointments, a flow was developed that periodically checks a Calendly email notification, extracts the appointment details with another AI agent, and updates the reserved stock in the database. The notification to the patient is sent via WhatsApp, thus closing the automation cycle.

The code for n8n's node logic was developed in JavaScript, and the user interface was implemented with HTML/CSS/JavaScript. The entire environment was run in Docker to ensure portability. The project demonstrates the technical feasibility of automating critical processes in the pharmaceutical sector, establishing a low-cost model that can be scaled to improve patient experience and the performance of dispensing service providers.

Keywords: *n8n, AI Agents, Gemini, MySQL, Docker, JavaScript, Medicines, Inventory, Scheduling, Prototype, Open source.*

Tabla de contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Situación Actual	15
Principales Problemas Identificados	16
Tiempos de Espera Excesivos	16
Impacto del problema	17
Justificación	18
Objetivos	21
Objetivos General	21
Objetivos Específicos	21
Marco Referencial	22
Estado Del Arte	22
Evolución de Sistemas Farmacéuticos Digitales	23
Análisis Comparativo de Soluciones Existentes	24
Brechas Identificadas	24
Marco Teórico	25
Inteligencia Artificial en Servicios de Salud	25
Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN)	25

	7
Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente	26
Orquestación de Flujos de Trabajo	26
Ventajas de la Implementación Local	27
Sistemas de Información Farmacéutica	28
Automatización en la Dispensación	28
Marco Conceptual	29
Definiciones Fundamentales	29
Arquitectura de Componentes	29
Marco Legal	31
Normatividad Nacional	31
Protección de Datos	31
Telesalud y Sistemas Digitales	31
Matriz de Cumplimiento	32
Marco Tecnológico	33
Tecnologías de Implementación	33
Plataforma n8n	33
Gestión de Bases de Datos	34
Arquitectura del Sistema	35
Flujo de Trabajo Principal	35
Componentes Principales Implementados como Nodos	36

	8
Integraciones Externas Mediante Nodos	41
Google Gemini (IA Multimodal):	41
Gmail (Comunicaciones):	41
Calendly (Agendamiento):	41
MySQL (Persistencia):	41
Consideraciones de Implementación	41
Configuración de Nodos Críticos	42
Fundamentos del sistema de dispensación farmacéutica	46
Inteligencia Artificial En Sistemas Farmacéuticos	46
Procesamiento De Lenguaje Natural	46
Agentes Inteligentes	47
Automatización De Procesos Con N8n	48
Plataformas de Automatización	48
Sistemas De Gestión Farmacéutica	49
Inventarios Inteligentes	49
Sistemas de Dispensación Automatizada	50
Interfaces Conversacionales	51
Principios de Diseño	51
Experiencia de Usuario en Salud	52
Arquitecturas De Software	53

	9
Arquitectura por Capas	53
Integración de Servicios	53
Seguridad En Sistemas De Salud	55
Protección De Datos Médicos	55
Cumplimiento Normativo Colombiano	55
Sistemas De Agendamiento	56
Optimización De Citas	56
Algoritmos de Programación	56
Métricas De Evaluación	57
Métricas Técnicas	57
Métricas de Usabilidad	57
Tecnologías Específicas Utilizadas	58
Stack Tecnológico	58
Integraciones Externas	59
Diseño Metodológico	61
Enfoque Metodológico	61
Metodología De Investigación	61
Proceso De Desarrollo	63
Fase 1: Análisis Y Planificación	63
Fase 2: Desarrollo de Componentes	64

	10
Fase 3: Integración y Workflows	67
Fase 4: Pruebas y Refinamiento	68
Fase 5: Finalización y Entrega	69
Gestión De Riesgos Metodológicos	70
Conclusiones	84
Recomendaciones	86
Recomendaciones para la Implementación	86
Recomendaciones para Trabajos Futuros	86
Limitaciones	87
Trabajo Futuro	88
Referencias bibliográficas	89
Anexos	92
Anexo A	92
Manual del Usuario	92
Anexo B Manual del Programador	93
Logs: Los errores de ejecución se almacenan en la tabla interna execution_entity de n8n para auditoría clínica. Anexo C	97
Bienvenido a la documentación de n8n#	97
Centrado en la privacidad: n8n autoalojado para mayor privacidad y seguridad.	97

Lista de Tablas

Tabla 1 Comparativo de sistemas de gestión farmacéutica con IA	24
Tabla 2 Glosario de términos técnicos del proyecto	29
Tabla 3 <i>Matriz de cumplimiento normativo</i>	32
Tabla 4 <i>Tipo de agente y funciones</i>	48
Tabla 5 <i>Comparación de generaciones de sistemas de dispensación</i>	51
Tabla 6 <i>Métricas técnicas</i>	57
Tabla 7 <i>Métricas de calidad por componente</i>	66
Tabla 8 <i>Cronograma detallado de actividades</i>	71
Tabla 9 <i>Matriz de riesgos y mitigaciones</i>	78

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Timeline de evolución de sistemas farmacéuticos digitales</i>	23
Figura 2	<i>Arquitectura de agentes de IA en sistemas de salud</i>	25
Figura 3	<i>Patrón de Orquestación de Flujos en n8n</i>	27
Figura 4	<i>Componentes y Flujo de Datos</i>	30
Figura 5	<i>Captura del flujo principal de Almelia y la conexión de todos sus nodos</i>	33
Figura 6	<i>Nodo MySQL (Búsqueda de paciente) configurado en n8n</i>	34
Figura 7	<i>Validador de agendamiento</i>	36
Figura 8	<i>Lista de espera</i>	36
Figura 9	<i>Captura del nodo AI Agent con configuración del prompt del sistema</i>	37
Figura 10	<i>Diagrama mostrando la interacción entre ambos agentes de IA</i>	39
Figura 11	<i>Captura del nodo MySQL mostrando una consulta de verificación de stock</i>	40
Figura 12	<i>Configuración del nodo AI Agent con System Message (prompt del sistema),</i>	43
Figura 13	<i>Configuración conexión credenciales MySQL</i>	44
Figura 14	<i>Nodo Gmail - Configuración SMTP</i>	44
Figura 15	<i>Service Account Email, Scopes habilitados</i>	45
Figura 16	<i>Capacidades de modelos de IA tradicionales vs multimodales</i>	47
Figura 17	<i>Un workflow básico n8n</i>	49
Figura 18	<i>Flujo de interacción usuario-sistema en el chat conversacional</i>	52
Figura 19	<i>Diagrama de arquitectura del sistema con integraciones</i>	54
Figura 20	<i>Esquema metodológico del proyecto</i>	62
Figura 21	<i>Diagrama de flujo de la Fase 1</i>	64

Introducción

La dispensación de medicamentos en el sistema de salud colombiano enfrenta una problemática crítica que afecta directamente la calidad de vida de miles de pacientes. Largas filas en las farmacias de las Entidades Promotoras de Salud (EPS), demoras prolongadas en la entrega de tratamientos y desplazamientos infructuosos se han convertido en una constante que sobrepasa la simple incomodidad. Según la Defensoría del Pueblo (2023), las esperas por medicamentos representan el 30% del total de quejas relacionadas con servicios de salud en el país, evidenciando la magnitud del problema.

Esta situación genera consecuencias tangibles y graves: pacientes que pierden horas de trabajo para encontrar farmacias cerradas o sin existencias, tratamientos críticos que se interrumpen comprometiendo la efectividad terapéutica, y recursos económicos desperdiciados en desplazamientos innecesarios. Para personas con enfermedades crónicas o de alto cuidado, estas interrupciones pueden significar el deterioro de su condición de salud.

La raíz del problema radica en la ausencia de mecanismos eficientes de comunicación entre los prestadores de servicios de dispensación y los pacientes. Actualmente, no existe un sistema que permita verificar la disponibilidad de medicamentos antes del desplazamiento físico, generando una ineficiencia operativa que afecta tanto a los usuarios como a los mismos centros de salud, que deben gestionar aglomeraciones y consultas repetitivas.

Ante esta problemática, el presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo funcional de sistema de consulta de medicamentos que permita verificar en tiempo real la disponibilidad de fármacos prescritos en fórmulas médicas. La solución integra agentes de inteligencia artificial para interpretar documentos médicos, una base de datos de inventario para consultas en tiempo real, y funcionalidades de agendamiento de citas de recogida. Utilizando n8n

como plataforma de orquestación de flujos de trabajo, junto con tecnologías de código abierto y sin costo de licencia, se busca ofrecer una alternativa viable, accesible y escalable, especialmente para centros de salud y farmacias con recursos limitados, contexto común en la realidad colombiana.

Planteamiento del problema

En Colombia, el acceso a medicamentos recetados se ha convertido en una barrera considerable para un número significativo de pacientes. Esta problemática se manifiesta de manera evidente en las extensas filas que se observan en las farmacias de las EPS y en el volumen constante de quejas por parte de los usuarios, reflejando una ineficiencia en el proceso de dispensación.

Situación Actual

La Defensoría del Pueblo ha reportado que las demoras en la entrega de medicamentos representan el 30% de las quejas registradas sobre servicios de salud en el país. Esta cifra no es un mero dato estadístico; detrás de ella, hay miles de personas que dependen de tratamientos urgentes y cuya espera prolongada puede tener consecuencias críticas para su salud. Complementando esto, datos de la Superintendencia Nacional de Salud revelan que aproximadamente el 42% de los pacientes experimentan retrasos de más de 15 días en la recepción de sus medicamentos, y cerca del 23% se ve obligado a visitar la farmacia en múltiples ocasiones para completar una única prescripción.

Un caso particularmente ilustrativo de esta situación es el de adultos mayores que, con afecciones como hipertensión, deben realizar desplazamientos repetitivos a sus centros de salud, a veces por trayectos que superan los 40 minutos, solo para encontrarse con la desalentadora respuesta de "No hay disponibilidad". Estos viajes innecesarios generan un desgaste significativo, especialmente para las poblaciones más vulnerables.

Principales problemas identificados

El análisis de esta situación crítica permite identificar cinco problemas fundamentales que impactan tanto a los pacientes como al sistema de salud en general:

Tiempos de Espera Excesivos

Los pacientes invierten horas en largas filas sin la certeza de si sus medicamentos estarán disponibles. Observaciones en diversas EPS han documentado esperas de hasta 4 horas, para luego ser informados de que deben regresar en otra ocasión.

Falta de información previa. No existe un mecanismo accesible que permita a los pacientes verificar la disponibilidad de sus medicamentos antes de desplazarse físicamente a la farmacia. Esta deficiencia afecta particularmente a adultos mayores, personas con movilidad reducida o aquellos que residen en zonas rurales y deben afrontar largos desplazamientos.

Errores en la interpretación de fórmulas. La caligrafía médica, a menudo compleja de descifrar, conduce a errores en el proceso de dispensación. Se han documentado confusiones entre medicamentos con nombres similares, lo que representa un riesgo directo para la seguridad del paciente.

Procesos manuales ineficientes. El personal farmacéutico dedica una proporción considerable de su tiempo a tareas administrativas que, con la tecnología adecuada, podrían automatizarse. Estas tareas incluyen la transcripción manual de fórmulas, la verificación visual de inventarios y el registro manual de entregas.

Barreras tecnológicas. Las soluciones de software existentes para la gestión farmacéutica suelen ser costosas y complejas, lo que las hace inalcanzables para muchos centros de salud públicos o pequeñas farmacias independientes en Colombia. Esta brecha tecnológica agudiza las inequidades en el acceso a servicios farmacéuticos eficientes.

Impacto del problema

Estos problemas concatenados generan un impacto negativo en tres frentes principales:

Para los pacientes. Se traduce en frustración, pérdida invaluable de tiempo, gastos adicionales en transporte y, lo más crítico, interrupciones en tratamientos esenciales que pueden comprometer seriamente su salud. Un estudio de la Universidad Nacional estima que estas ineficiencias aumentan en un 35% el tiempo que los pacientes dedican a gestiones relacionadas con sus tratamientos.

Para el personal de salud. Implica una sobrecarga laboral y un desgaste profesional significativo. Entrevistas con personal farmacéutico revelan que hasta el 60% de su jornada laboral se dedica a tareas administrativas que les impiden ofrecer una asesoría farmacéutica especializada.

Para el sistema de salud. Resulta en un uso ineficiente de recursos, una mayor congestión en los puntos de atención y un incremento en los costos operativos. La Asociación Colombiana de Hospitales y Clínicas sugiere que la optimización de estos procesos podría reducir hasta en un 25% los costos administrativos asociados.

¿Puede un sistema basado en inteligencia artificial y herramientas de automatización de código abierto, mejorar la eficiencia y accesibilidad en la consulta y dispensación de medicamentos recetados en las farmacias de EPS en Colombia?

Justificación

El desarrollo de este sistema adquiere una relevancia considerable en el actual contexto sanitario colombiano, donde las estadísticas no hacen más que confirmar un problema sistémico en la forma en que se dispensan los medicamentos. Es una realidad que el 42% de los pacientes enfrentan demoras significativas en la entrega de sus tratamientos, lo que impacta directamente la continuidad de su terapia y, por ende, su bienestar general. Esta situación se ve agravada por la ineficiencia de los procesos actuales; un estudio de la Universidad Nacional ha documentado cómo los sistemas ineficientes de verificación y dispensación incrementan en un 35% el tiempo que los pacientes dedican a estas gestiones, lo que no solo es una pérdida de tiempo, sino un obstáculo tangible para su adherencia terapéutica.

Este proyecto no surge de forma aislada, sino que se alinea estratégicamente con las políticas públicas nacionales vigentes. Responde de manera directa a los objetivos planteados en la Política Farmacéutica Nacional (CONPES 155), que identifica como una prioridad clave la incorporación de tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia del servicio farmacéutico y garantizar un acceso oportuno a los medicamentos. Adicionalmente, el sistema propuesto encaja perfectamente en las directrices del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, que enfatiza la digitalización y la modernización tecnológica como herramientas fundamentales para mejorar el acceso a los servicios de salud y reducir las inequidades presentes en el sistema sanitario colombiano.

El desarrollo de este sistema se justifica por múltiples razones, que abarcan tanto necesidades inmediatas como objetivos estratégicos a largo plazo:

Mejora en la experiencia del paciente. La implementación de este sistema transformará la vivencia de los usuarios al reducir drásticamente los tiempos de espera y eliminar la necesidad

de desplazamientos innecesarios a farmacias cuando los medicamentos no están disponibles. Este beneficio es especialmente valioso para poblaciones vulnerables, como personas con movilidad reducida, adultos mayores o pacientes con enfermedades crónicas, quienes dependen de una medicación regular y para quienes cada visita inútil representa un esfuerzo considerable.

Optimización de recursos sanitarios. En un escenario de recursos limitados en el sector salud colombiano, este sistema permitirá al personal farmacéutico redirigir su tiempo y su conocimiento hacia actividades de mayor valor añadido. Podrán concentrarse en la atención farmacéutica, el seguimiento de tratamientos y la educación al paciente, en lugar de dedicar horas a procesos administrativos y repetitivos que son fácilmente automatizables.

Reducción de errores críticos. La automatización del procesamiento de fórmulas médicas mediante agentes de IA minimizará los errores humanos en la interpretación de prescripciones, un problema bien documentado que puede tener consecuencias graves para la seguridad del paciente. La consistencia y precisión de un sistema automatizado, con las salvaguardias adecuadas, contribuirá significativamente a reducir eventos adversos relacionados con la dispensación incorrecta de medicamentos.

Accesibilidad tecnológica. Al basarse exclusivamente en herramientas gratuitas y de código abierto como n8n y agentes de IA implementados localmente, el sistema propuesto rompe la barrera económica que históricamente ha impedido a centros con recursos limitados acceder a soluciones tecnológicas avanzadas. Esta característica es particularmente relevante para pequeñas farmacias, centros de salud rurales y hospitales públicos que operan con restricciones presupuestarias.

Potencial de escalabilidad. Aunque conceptualizado inicialmente como un prototipo funcional, la arquitectura modular construida sobre n8n le confiere al sistema un considerable

potencial para expandirse con funcionalidades adicionales y adaptarse a diversos contextos sanitarios. Podría crecer desde pequeñas farmacias hasta complejas redes hospitalarias, todo ello sin requerir inversiones desproporcionadas en nuevas infraestructuras.

Valor académico y práctico. Desde una perspectiva académica, este proyecto integra múltiples tecnologías y paradigmas de vanguardia (agentes de IA, interfaces conversacionales, sistemas de agendamiento, orquestación de flujos) en una solución con una aplicación práctica inmediata. Esto no solo genera conocimiento transferible, sino que sirve como un caso de estudio completo para futuros desarrollos en el ámbito de la salud digital.

Alineación con tendencias tecnológicas. El sistema propuesto responde a la creciente demanda de digitalización en el sector salud colombiano. Se alinea con tendencias globales de automatización, sistemas conversacionales e integración de servicios que están redefiniendo la prestación de servicios sanitarios, preparando así al sector farmacéutico nacional para los retos tecnológicos del futuro.

Esta convergencia de factores —una necesidad claramente documentada, una alineación con políticas públicas, múltiples beneficios tangibles y una sólida viabilidad técnica— fundamenta de manera robusta el desarrollo de este sistema como una intervención oportuna y relevante para mejorar el acceso a medicamentos en Colombia.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema de consulta con agentes de IA en n8n y tecnologías de código abierto, que verifique la disponibilidad de medicamentos y optimice el proceso de consulta y agendamiento de citas para su recolección.

Objetivos específicos

Diseñar una arquitectura modular basada en n8n en entorno local que conecte los agentes de IA con las bases de datos, incluyendo la especificación de componentes, integraciones y criterios técnicos.

Implementar la arquitectura definida en n8n, configurando los flujos de trabajo necesarios para el sistema y validando su funcionamiento extremo a extremo.

Desarrollar la integración con agentes de IA para interpretar y extraer la información de las fórmulas médicas. Esto nos permite identificar medicamentos y consultar su disponibilidad en los inventarios.

Crear un sistema de consulta conversacional que permita a los usuarios verificar rápidamente la disponibilidad de los medicamentos. Este sistema también enviará automáticamente por correo electrónico las peticiones confirmadas al centro de dispensación.

Implementar el sistema de agendamiento: Crear un sistema automatizado para agendar citas de recogida de medicamentos. Este sistema usará IA para optimizar horarios y enviará confirmaciones de fecha y hora por correo electrónico al paciente.

Marco referencial

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en un análisis crítico de las soluciones y tecnologías existentes, así como en un marco teórico, conceptual y legal que le da solidez, coherencia y pertinencia en el contexto del sistema de salud colombiano. Es, en esencia, la justificación de por qué y cómo estamos abordando este problema, basándonos en el conocimiento actual, pero aplicando un enfoque innovador.

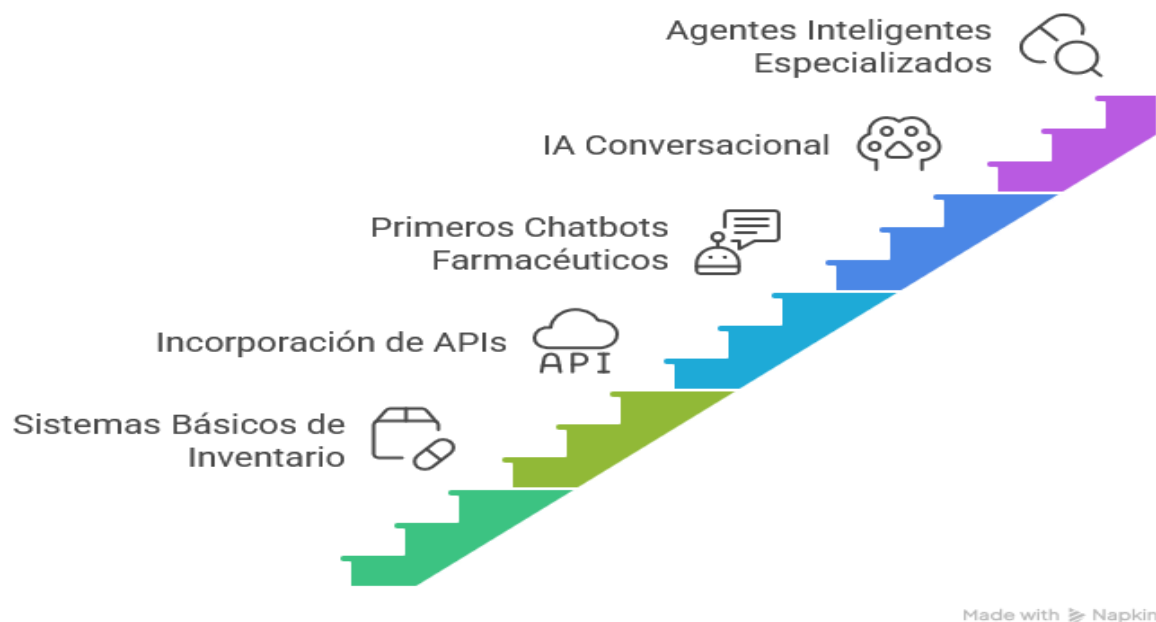
Estado del arte

La digitalización y automatización de los servicios farmacéuticos ha cobrado importancia global debido a los retos de eficiencia, seguridad y experiencia del paciente en la dispensación de medicamentos. Actualmente, múltiples sistemas de gestión de medicamentos implementan inteligencia artificial (IA) y procesamiento de lenguaje natural (PLN) para modernizar la consulta, el manejo de stock y la atención al usuario en farmacias y hospitales.

Evolución de sistemas farmacéuticos digitales

Figura 1

Timeline de evolución de sistemas farmacéuticos digitales



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Napkin (2026)

Los sistemas actuales han evolucionado desde simples gestores de inventario hasta plataformas inteligentes que incorporan procesamiento de lenguaje natural y automatización de procesos. Empresas como ScriptPro y Omnicell han desarrollado soluciones robóticas para la dispensación, mientras que startups como Babylon Health y Ada Health han implementado agentes conversacionales para consultas médicas preliminares.

Análisis comparativo de soluciones existentes

Tabla 1

Comparativo de sistemas de gestión farmacéutica con IA

Sistema	Tecnología Principal	Funcionalidades IA	Limitaciones	Tipo Implementación
ScriptPro SP 200	Robótica + APIs	Verificación automática	Alto costo, requiere hardware especializado	On-premise
Omnicell XT	RFID + Cloud Computing	Gestión inteligente de inventario	Dependencia de conectividad	Híbrida
PharmaBot	Chatbot + NLP	Consultas conversacionales	Limitado a información básica	Cloud
MedDispense AI	Machine Learning	Predicción de demanda	No incluye agendamiento	Cloud
Propuesta Actual	n8n + Agentes IA	Consulta + Agendamiento + PLN	En desarrollo (prototipo)	Local

Fuente. Tabla generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Brechas identificadas

La revisión del estado del arte revela que, aunque existen múltiples soluciones, pocas integran consulta conversacional, verificación de disponibilidad y agendamiento automatizado en un entorno completamente local. Esta brecha representa la oportunidad de innovación que aborda el presente proyecto.

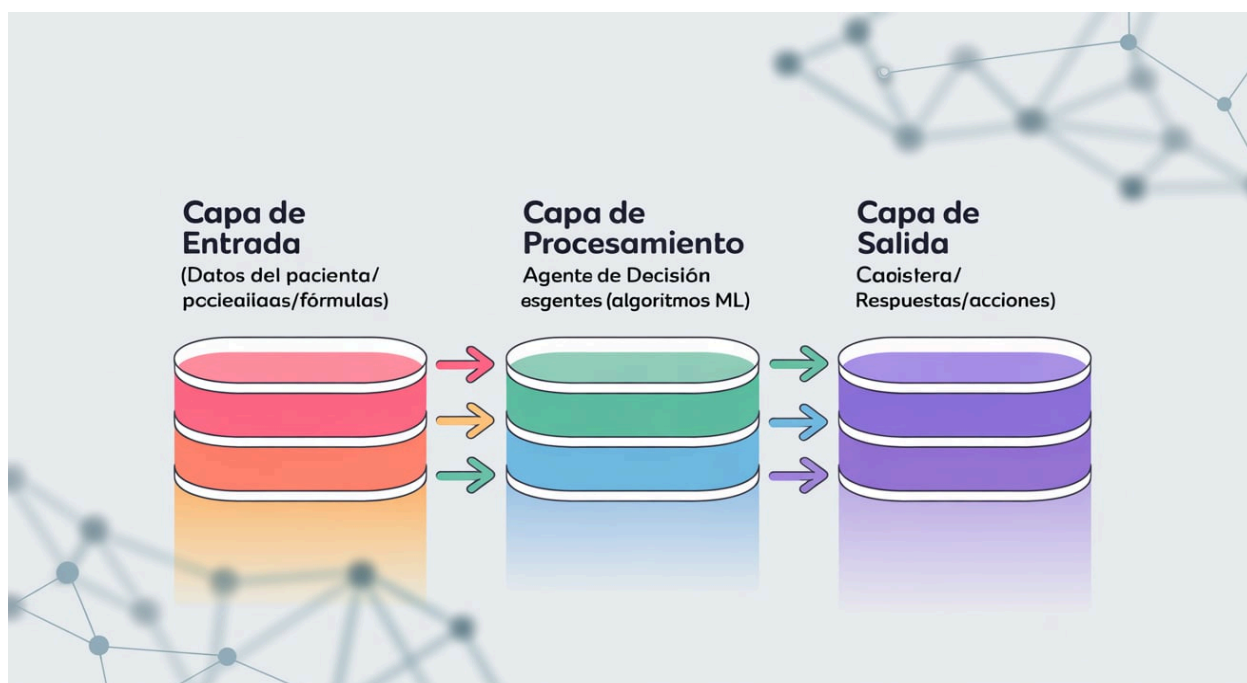
Marco teórico

Inteligencia artificial en servicios de salud

La inteligencia artificial aplicada a servicios de salud comprende sistemas capaces de realizar tareas que tradicionalmente requieren inteligencia humana, incluyendo el reconocimiento de patrones, toma de decisiones y procesamiento de lenguaje natural (Russell & Norvig, 2021).

Figura 2

Arquitectura de agentes de IA en sistemas de salud



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo NanoBanana de Google (2026)

Procesamiento de lenguaje natural (PLN)

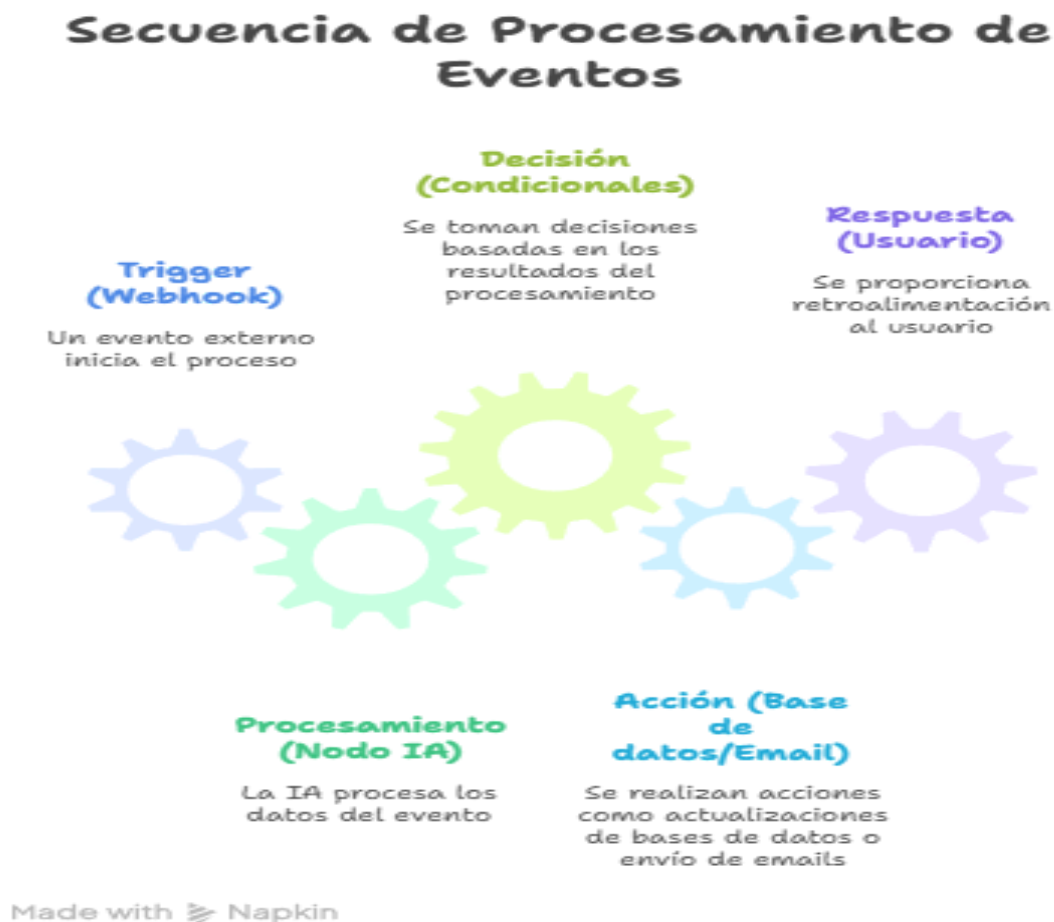
El PLN permite a las máquinas comprender, interpretar y generar lenguaje humano de manera significativa. En el contexto farmacéutico, el PLN facilita la extracción de información relevante de prescripciones médicas, identificando medicamentos, dosificaciones y frecuencias de administración (Jurafsky & Martin, 2020).

Agentes inteligentes y sistemas multiagente

Un agente inteligente es una entidad autónoma que percibe su entorno y actúa sobre él para alcanzar objetivos específicos. En sistemas farmacéuticos, los agentes pueden especializarse en diferentes tareas como interpretación de fórmulas, consulta de inventarios o optimización de agendas.

Orquestación de flujos de trabajo

La orquestación de flujos de trabajo se refiere a la coordinación automatizada de procesos complejos que involucran múltiples sistemas y servicios. n8n, como plataforma de orquestación, permite crear flujos visuales que conectan diferentes herramientas y servicios mediante nodos especializados.

Figura 3*Patrón de Orquestación de Flujos en n8n*

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando Napkin (2026)

Ventajas de la implementación local

La implementación local de sistemas de orquestación ofrece ventajas significativas en términos de privacidad de datos, control total sobre la infraestructura y cumplimiento de regulaciones específicas del sector salud (Fowler, 2019).

Sistemas de información farmacéutica

Los sistemas de información farmacéutica modernos deben integrar múltiples procesos: recepción de prescripciones, verificación de disponibilidad, gestión de inventarios y comunicación con pacientes.

Automatización en la dispensación

La automatización reduce errores humanos, acelera procesos y mejora la trazabilidad. Estudios demuestran que sistemas automatizados pueden reducir errores de dispensación hasta en un 85% (Institute of Medicine, 2021).

Marco conceptual

Definiciones fundamentales

Tabla 2

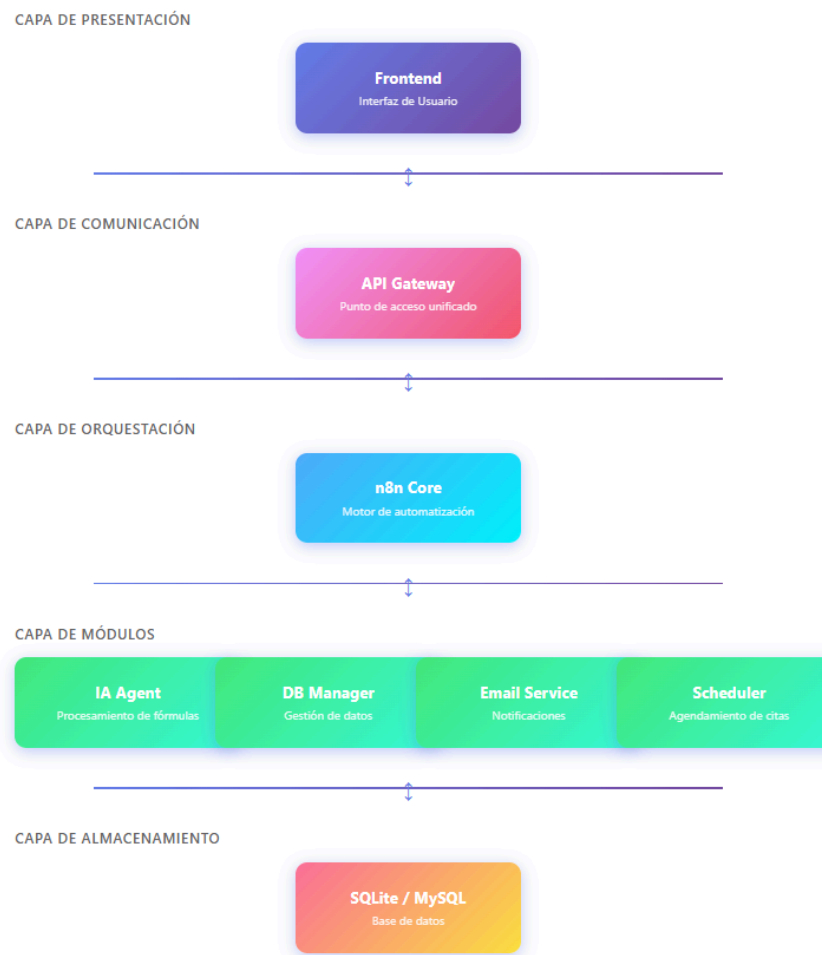
Glosario de términos técnicos del proyecto

Término	Definición	Aplicación en el Proyecto
n8n	Plataforma de automatización de flujos de trabajo basada en nodos visuales	Orquestador central del sistema
Agente de IA	Programa autónomo que ejecuta tareas específicas usando inteligencia artificial	Procesamiento de fórmulas médicas
PLN	Procesamiento de Lenguaje Natural - tecnología que permite a las máquinas entender texto humano	Extracción de información de prescripciones
API REST	Interfaz de programación que permite comunicación entre sistemas web	Integración con bases de datos y servicios externos
Webhook	Mecanismo que permite envío automático de datos entre aplicaciones	Trigger de flujos de trabajo en tiempo real
Base de Datos Local	Sistema de almacenamiento de información en servidor propio	Almacenamiento seguro de inventarios y citas
Sistema Conversacional	Interfaz que permite interacción natural mediante texto o voz	Canal de comunicación con usuarios finales

Fuente. Tabla generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Arquitectura de componentes

El sistema propuesto se fundamenta en una arquitectura modular que facilita el mantenimiento, escalabilidad y desarrollo incremental.

Figura 4*Componentes y Flujo de Datos*

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo NanoBanana de Google (2026)

Marco legal

Normatividad nacional

Ley 100 de 1993 (Sistema de Seguridad Social Integral): Establece el marco general del sistema de salud colombiano, incluyendo el acceso a medicamentos como parte integral del derecho a la salud. Los artículos 156 y 162 garantizan el suministro de medicamentos esenciales en su presentación genérica.

Resolución 1403 de 2007: Determina el Modelo de Gestión del Servicio Farmacéutico y adopta el Manual de Condiciones Esenciales y Procedimientos. Regula los procesos de dispensación de medicamentos, incluyendo los requisitos para la recepción y validación de fórmulas médicas.

Decreto 780 de 2016: Decreto Único Reglamentario del Sector Salud y Protección Social. Incluye disposiciones sobre el servicio farmacéutico, la prescripción de medicamentos y los sistemas de información.

Protección de datos

Ley 1581 de 2012 (Protección de Datos Personales): Regula el tratamiento de datos personales, aspecto crucial para un sistema que manejará información de pacientes. Establece los principios de libertad, finalidad, veracidad, transparencia, acceso y confidencialidad en el manejo de datos.

Telesalud y sistemas digitales

Resolución 2654 de 2019: Establece las disposiciones para la Telesalud y parámetros para la práctica de la Telemedicina en Colombia. Pertinente para el proyecto por su componente digital en la atención farmacéutica.

Resolución 3100 de 2019: Define los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud. Incluye estándares específicos para el servicio farmacéutico.

Matriz de cumplimiento

Tabla 3

Matriz de cumplimiento normativo

Normativa	Componente del Sistema	Requisitos Específicos	Estado de Cumplimiento
Ley 1581/2012	Gestión de Datos	Encriptación, consentimiento informado	Diseño completo
Resolución 1403/2007	Validación de Fórmulas	Verificación de prescripciones	Implementación en IA Agent
Decreto 780/2016	Sistema de Información	Trazabilidad, auditoría	Base de datos local
Resolución 2654/2019	Interfaz Digital	Seguridad, autenticación	Módulo de autenticación

Fuente. Tabla generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Marco tecnológico

Tecnologías de implementación

Plataforma n8n

n8n es una herramienta de automatización extensible de código abierto que permite crear flujos de trabajo complejos mediante una interfaz visual intuitiva basada en nodos. Su arquitectura modular facilita la integración de múltiples servicios y la implementación de lógica empresarial sin necesidad de programación tradicional.

Características implementadas en el proyecto:

Orquestación visual mediante conexión de nodos

Integración nativa con servicios externos (Gmail, MySQL, Calendly)

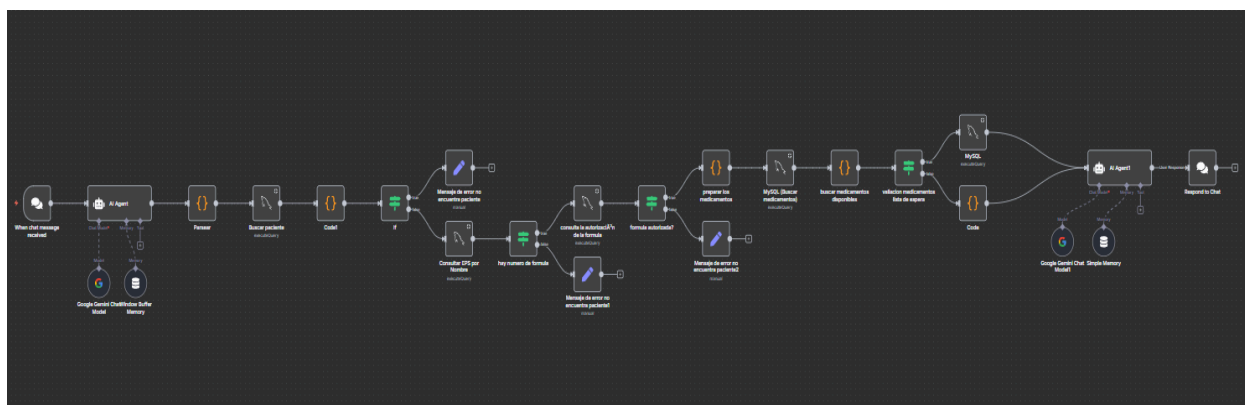
Nodos de IA (AI Agent) para procesamiento de lenguaje natural

Workflows automatizados para cada fase del proceso de dispensación

Ejecución local sin dependencia de servicios en la nube

Figura 5

Captura del flujo principal de Almelia y la conexión de todos sus nodos



Fuente. Elaboración propia

Gestión de bases de datos

La implementación utiliza MySQL Community 8.0.42 para gestión de datos relacionales, garantizando rendimiento, escalabilidad e integridad referencial mediante el motor de almacenamiento InnoDB.

Configuración de conexión:

Host: 172.26.xxx.x

Database: sistema_medicamentos

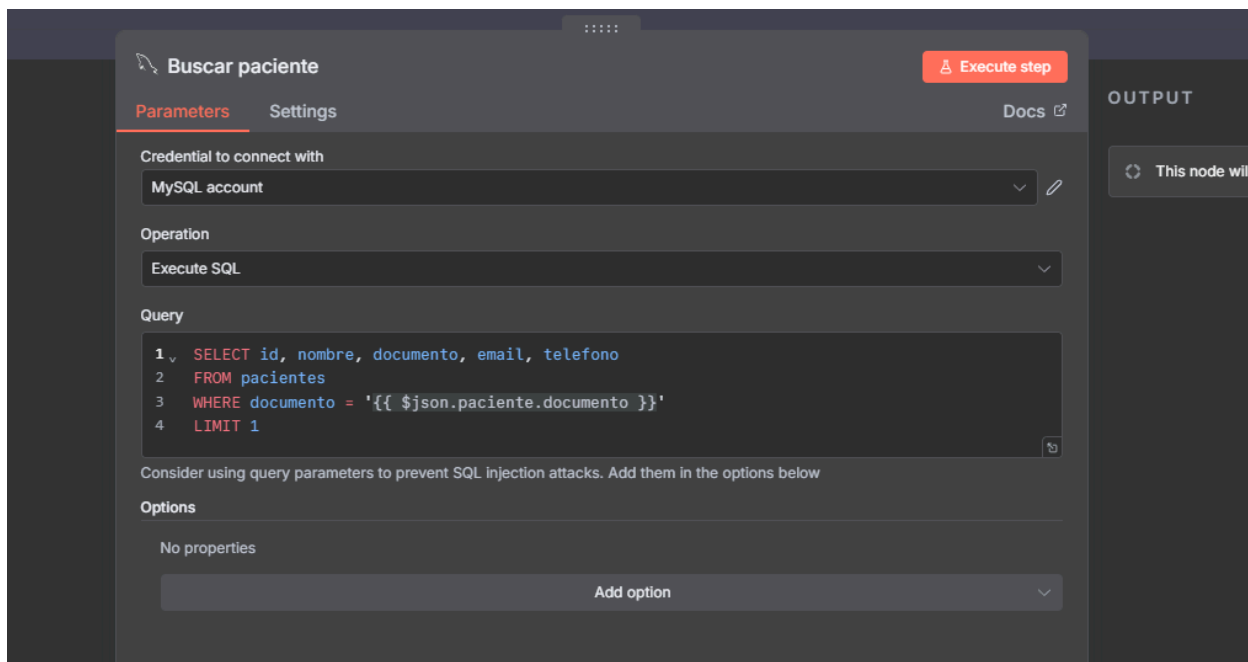
User: app_medicamentos

Contraseña: xxxxxxxx

Port: 3306

Figura 6

Nodo MySQL (Búsqueda de paciente) configurado en n8n



Fuente. Elaboración propia

Arquitectura del sistema

Flujo de trabajo principal

El sistema implementa tres workflows principales en n8n:

Workflow de consulta con agente de IA. Nodo AI Agent: Procesa fórmulas médicas mediante Google Gemini 2.0 Flash.

Nodo Window Buffer Memory: Mantiene contexto conversacional

Nodo MySQL: Consulta disponibilidad de medicamentos

Nodo Code (JavaScript): Parsea y valida respuestas de IA

Nodo HTTP Request: Expone interfaz web para usuarios

Workflow de validación de agendamiento. Nodo Gmail Trigger: Detecta correos con fórmulas médicas

Nodo AI Agent: Extrae datos estructurados de la fórmula

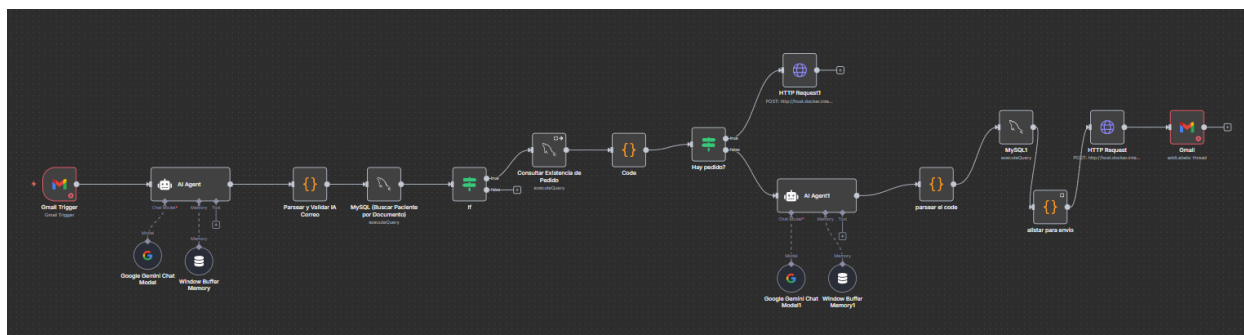
Nodo Code: Normaliza y valida información extraída

Nodo MySQL: Verifica disponibilidad y registra solicitud

Nodo IF (Conditional): Determina flujo según disponibilidad

Nodo Calendly: Genera enlace de agendamiento automático

Nodo Gmail: Envía notificación al paciente

Figura 7*Validador de agendamiento**Fuente.* Elaboración propia

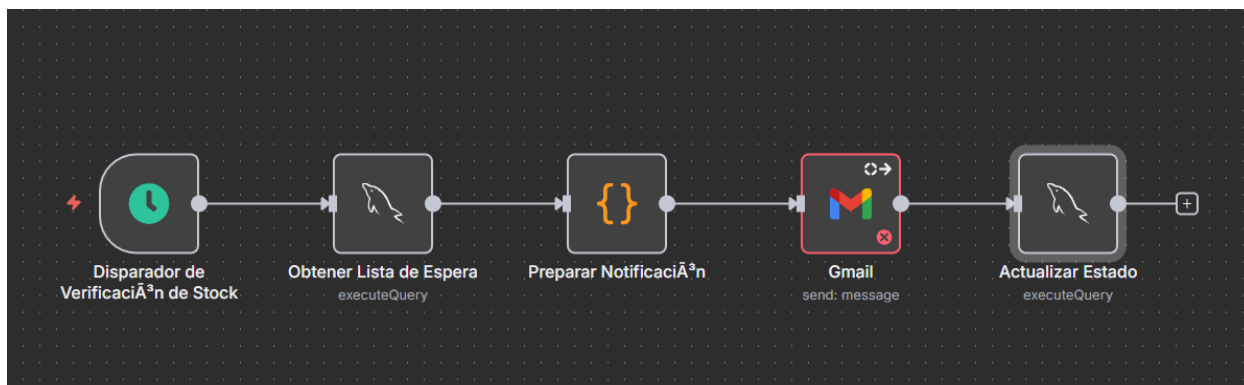
Workflow de lista de espera. Nodo Schedule Trigger: Ejecuta verificaciones periódicas

Nodo MySQL: Consulta personas pendientes por entrega

Nodo Code: Crea la notificación

Nodo Gmail: Envía recordatorios automatizados

Nodo MySQL: Actualiza la lista de espera

Figura 8*Lista de espera**Fuente.* Elaboración propia

Componentes principales implementados como nodos

Sistema de consulta conversacional. Tipo de nodo: @n8n/n8n-nodes-langchain.agent

Modelo IA: Google Gemini 2.0 Flash Lite (configurado via Google PaLM API)

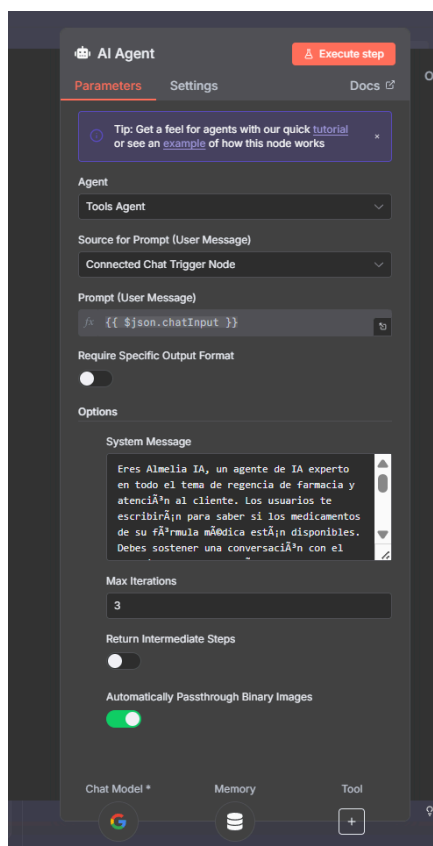
Función: Interpreta consultas en lenguaje natural y procesa imágenes de fórmulas
médicas

Configuración clave: maxIterations: 3passthroughBinaryImages: truesystemMessage:

"Eres Almelia IA, un agente experto en regencia de farmacia..."

Figura 9

Captura del nodo AI Agent con configuración del prompt del sistema



Fuente. Elaboración propia

Orquestador n8n con Agentes de IA.

Componente central que gestiona:

Recepción de solicitudes: Nodos HTTP Request y Gmail Trigger

Procesamiento con IA: Nodos AI Agent con Google Gemini

Consultas a base de datos: Nodos MySQL para verificación de inventario

Agendamiento: Integración con Calendly mediante nodos HTTP Request

Notificaciones: Nodos Gmail para envío de correos electrónicos

Módulo de agentes de IA (Nodos Especializados)

Nodo AI Agent 1 - Extracción de Datos:

Entrada: Imagen, PDF de fórmula médica o texto

Salida: JSON estructurado con datos del paciente, EPS y medicamentos

Prompt especializado: Extracción de información médica estructurada

Nodo AI Agent 2 - Generación de Consultas SQL:

Entrada: Lista de medicamentos extraídos

Salida: Consultas SQL para verificar disponibilidad

Función: Traduce medicamentos a queries de base de datos

Figura 10

Diagrama mostrando la interacción entre ambos agentes de IA



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando Napkin (2026)

Base de datos de inventario y agendamiento

Nodos MySQL implementados:

Conexión persistente configurada en credenciales de n8n

Operaciones: `executeQuery` para consultas personalizadas

Tablas principales:

medicamentos: Inventario con stock y disponibilidad

pacientes: Registro de usuarios del sistema

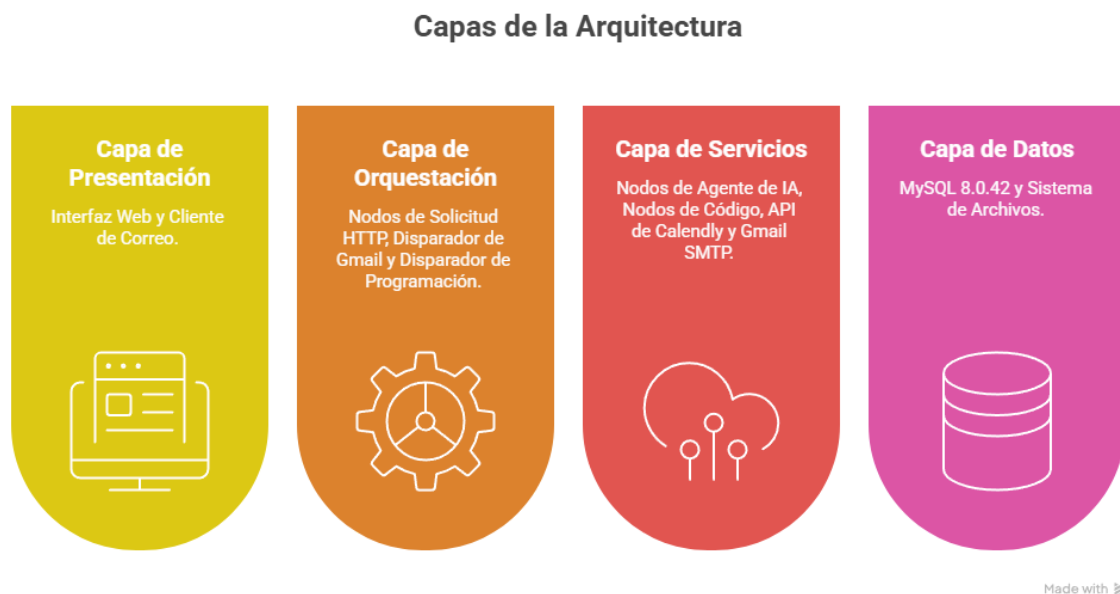
formulas_medicas: Historial de prescripciones procesadas

citas: Sistema de agendamiento

notificaciones: Log de comunicaciones enviadas

Figura 11

Captura del nodo MySQL mostrando una consulta de verificación de stock



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando Napkin (2026)

Integraciones externas mediante nodos

Google Gemini (IA Multimodal):

Credencial: Google PaLM API account

Modelo: gemini-2.0-flash-lite

Capacidades: Procesamiento de texto e imágenes

Uso: Interpretación de fórmulas médicas manuscritas o digitalizadas

Gmail (Comunicaciones):

Credencial: Google Service Account

Funciones:

Trigger: Detectar correos entrantes con fórmulas

Action: Enviar notificaciones de disponibilidad y confirmación de citas

Calendly (Agendamiento):

Integración: HTTP Request nodes con API REST

Función: Generación automática de enlaces de citas personalizados

MySQL (Persistencia):

Driver: mysql2

Operaciones: Consultas, inserciones y actualizaciones mediante nodos MySQL

Consideraciones de implementación

Ventajas de la arquitectura basada en nodos n8n:

Visualización clara: Los workflows gráficos facilitan comprensión y mantenimiento

Modularidad: Cada nodo representa una unidad funcional independiente

Escalabilidad: Nodos pueden replicarse y distribuirse según carga

Debugging simplificado: Inspección de datos entre nodos en tiempo real

Sin código complejo: Mayoría de funcionalidades mediante configuración visual

Implementación local: Cumplimiento de normativas de protección de datos

Reducción de dependencias: Sin necesidad de servicios en la nube externos

Limitaciones y mitigaciones:

Complejidad de workflows grandes: Mitigado mediante sub-workflows y documentación

Dependencia de servicios externos (Gmail, Gemini): Implementación de fallbacks y manejo de errores

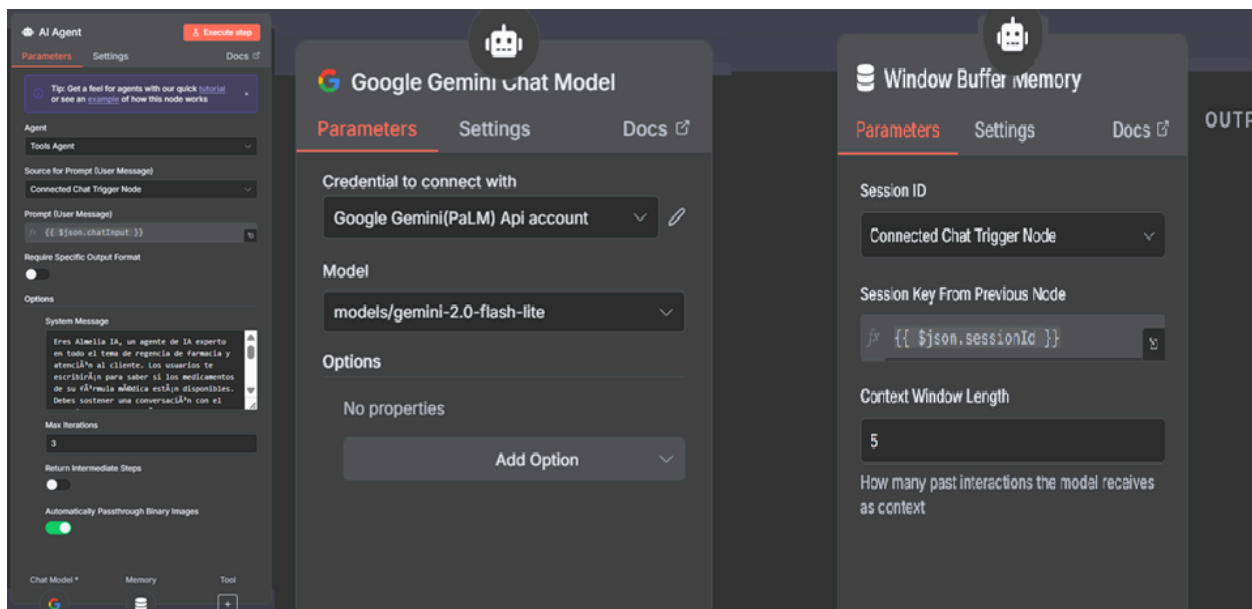
Límites de rate en APIs externas: Control mediante nodos de espera y colas

Configuración de nodos críticos

Nodo AI Agent - Configuración Completa

Figura 12

Configuración del nodo AI Agent con System Message (prompt del sistema),

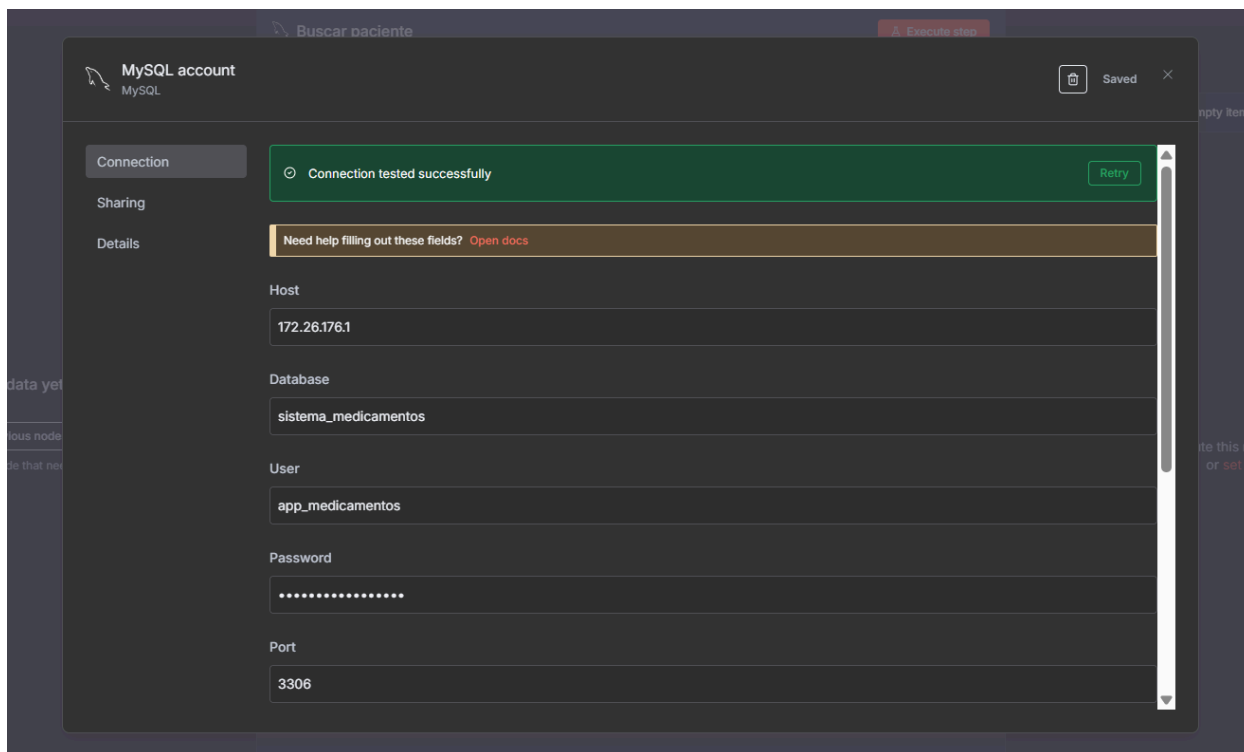


Fuente. Elaboración propia

Nodo MySQL - Configuración de Conexión

Figura 13

Configuración conexión credenciales MySQL Host: localhost o IP del servidor Database: sistema_medicamentos User: Credenciales configuradas Port: 3306



Fuente. Elaboración propia

Figura 14

Nodo Gmail - Configuración SMTP

```

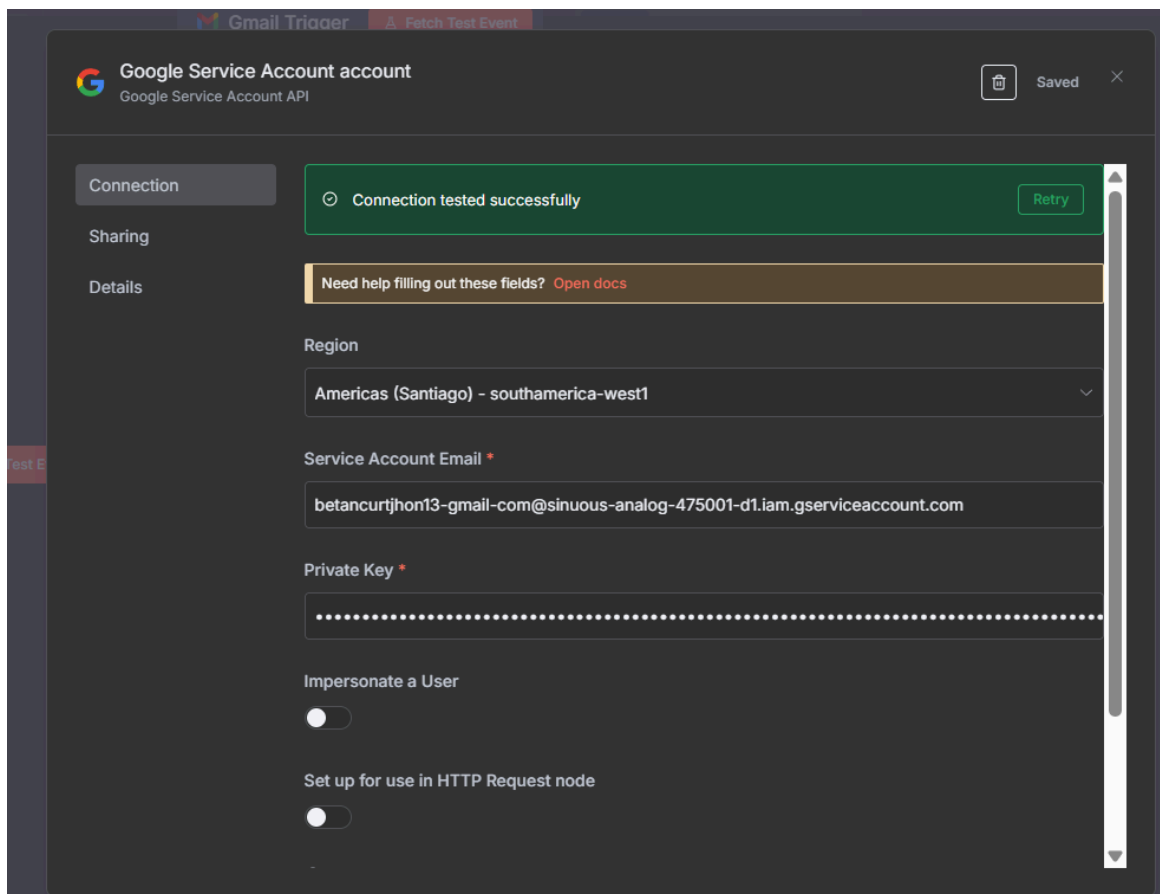
1 sinuous-analog-475001-d1-265926b279b5.json X
2 C: > Users > jhonj > Downloads > {} sinuous-analog-475001-d1-265926b279b5.json > ...
3 1
4 {
5   "type": "service_account",
6   "project_id": "sinuous-analog-475001-d1",
7   "private_key_id": "265926b279b51e711ed07ba78409d3006d5ccc52",
8   "private_key": "-----BEGIN PRIVATE KEY-----\nMIIEvAIBADANBgkqhkiG9w0BAQEFAASCBKwggsiAgEAAoIBAQC1nmI10VUoi+\n/qdmGn6YuVXRS4763VkpqJVZGSLG9ubdfAoT1JITi
9   "client_email": "betancurtjhon13-gmail-com@sinuous-analog-475001-d1.iam.gserviceaccount.com",
10  "client_id": "100349408946137073339",
11  "auth_uri": "https://accounts.google.com/o/oauth2/auth",
12  "token_uri": "https://oauth2.googleapis.com/token",
13  "auth_provider_x509_cert_url": "https://www.googleapis.com/oauth2/v1/certs",
14  "client_x509_cert_url": "https://www.googleapis.com/robot/v1/metadata/x509/betancurtjhon13-gmail-com%40sinuous-analog-475001-d1.iam.gserviceaccount.com",
15  "universe_domain": "googleapis.com"
16 }

```

Fuente. Elaboración propia

Figura 15

Service Account Email, Scopes habilitados



Fuente. Elaboración propia

Fundamentos del sistema de dispensación farmacéutica

El desarrollo de sistemas automatizados en el sector farmacéutico ha evolucionado con la incorporación de inteligencia artificial y plataformas de automatización de procesos. Este marco teórico establece los fundamentos conceptuales y tecnológicos que sustentan el desarrollo del sistema propuesto.

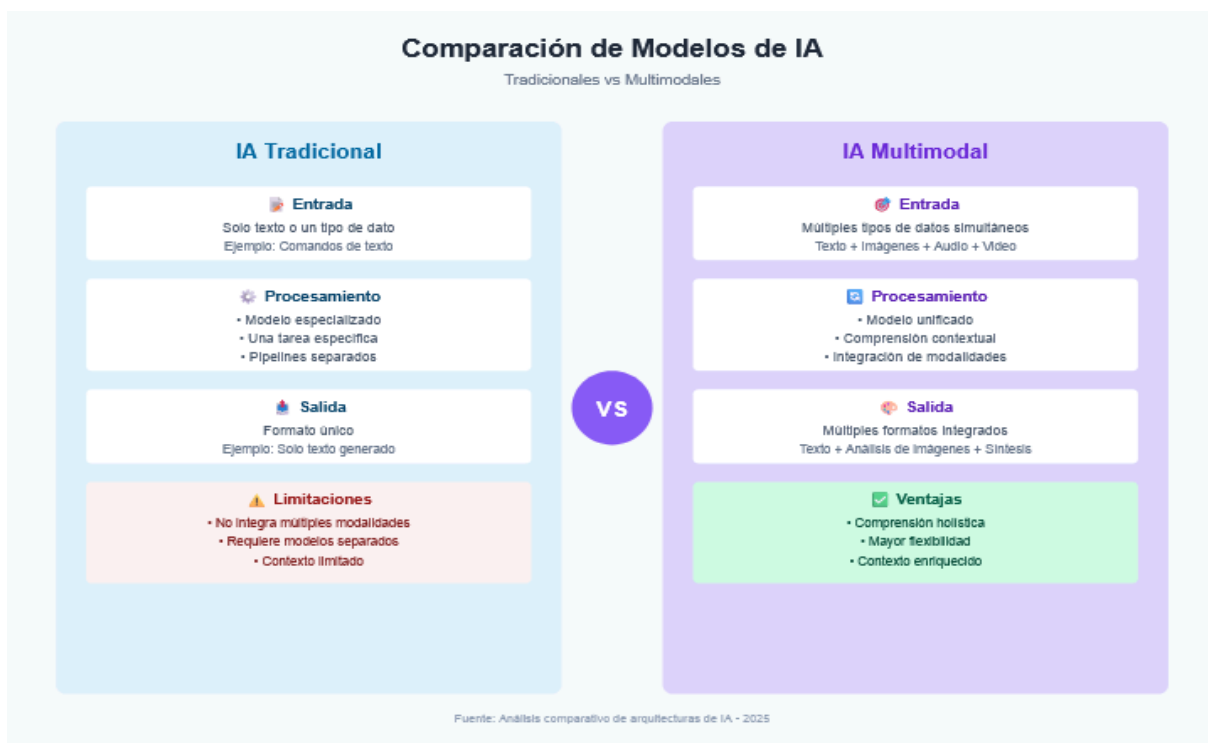
Inteligencia artificial en sistemas farmacéuticos

Procesamiento de lenguaje natural

La Inteligencia Artificial se define como la capacidad de los sistemas computacionales para realizar tareas que tradicionalmente requieren inteligencia humana (Russell & Norvig, 2021). El Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) permite a las máquinas comprender e interpretar lenguaje humano de manera contextual. Los modelos multimodales actuales, como Google Gemini utilizado en este proyecto, combinan procesamiento textual con interpretación de imágenes. Esto es fundamental para procesar fórmulas médicas que contienen texto manuscrito, sellos y elementos visuales diversos.

Figura 16

Comparación de capacidades de modelos de IA tradicionales vs multimodales



Fuente. Elaboración propia

Agentes inteligentes

Un agente inteligente es una entidad computacional autónoma que percibe su entorno y actúa para alcanzar objetivos específicos (Wooldridge, 2009). En este proyecto, los agentes se especializan en:

Tabla 4*Tipo de agente y funciones*

Tipo de Agente	Función Principal	Implementación en el Proyecto
Interpretación	Extracción de datos de fórmulas médicas	Google Gemini con prompts específicos
Validación	Verificación de autorizaciones EPS	Consultas MySQL con validaciones
Optimización	Gestión de inventarios y citas	Algoritmos de disponibilidad
Comunicación	Interfaz con usuarios	Chat conversacional y WhatsApp

Fuente. Tabla generada por el autor utilizando el modelo Gemini de OpenAI (2026)

Automatización de procesos con N8n

Plataformas de automatización

n8n es una plataforma de automatización de código abierto que permite crear flujos de trabajo mediante una interfaz visual. Sus características principales incluyen:

Orquestación visual: Conexión de servicios mediante nodos gráficos

Flexibilidad: Código personalizado en JavaScript cuando se necesita

Integraciones: Conectores nativos para múltiples servicios

Escalabilidad: Arquitectura distribuida para cargas variables

Figura 17

Un workflow básico n8n



Fuente Sacada de la página

<https://preview.redd.it/my-first-n8n-workflow-starting-small-thinking-big-with-v0-86qv5qalc82f1.png?width=640&crop=smart&auto=webp&s=1f1242cba87bc9e2d39ac1f9a0826a6423c8c0fc>

Sistemas de gestión farmacéutica

Inventarios inteligentes

Los inventarios farmacéuticos representan un ecosistema complejo que debe optimizar simultáneamente múltiples objetivos conflictivos: garantizar la disponibilidad oportuna de medicamentos críticos, minimizar desperdicios por caducidad, mantener el cumplimiento de estrictas regulaciones de almacenamiento y controlar los costos operativos dentro de presupuestos limitados (Mustaffa & Potter, 2009).

La complejidad de estos sistemas se incrementa por factores inherentes al sector farmacéutico que no se presentan en inventarios tradicionales. La variabilidad de la demanda estacional afecta significativamente ciertos medicamentos, como antigripales durante épocas invernales o medicamentos para enfermedades tropicales durante temporadas lluviosas.

Adicionalmente, las restricciones regulatorias de almacenamiento imponen condiciones específicas de temperatura, humedad y seguridad que pueden limitar la flexibilidad operativa y incrementar los costos de mantenimiento.

El manejo de inventarios farmacéuticos también debe considerar la criticidad diferenciada de los medicamentos, donde algunos fármacos para condiciones crónicas requieren disponibilidad constante, mientras que otros pueden tolerar desabastecimientos temporales sin comprometer la seguridad del paciente. Los patrones de prescripción médica introducen otra capa de complejidad, ya que las tendencias terapéuticas, la aparición de nuevos tratamientos y las políticas de formularios institucionales pueden alterar dramáticamente los requerimientos de stock.

Sistemas de dispensación automatizada

La evolución de los sistemas de dispensación automatizada ha progresado a través de cuatro generaciones tecnológicas claramente diferenciadas. Los sistemas de primera generación se caracterizaron por implementaciones mecánicas básicas que simplemente automatizaron tareas físicas de conteo y empaquetado. La segunda generación introdujo la integración con sistemas de información, permitiendo la sincronización de inventarios y la trazabilidad básica de transacciones, capacidad que se refleja en este proyecto mediante la implementación de la base de datos MySQL que centraliza información de pacientes, medicamentos y transacciones.

La dispensación automatizada ha evolucionado hacia sistemas inteligentes. El sistema propuesto incorpora elementos de cuarta generación:

Tabla 5*Comparación de generaciones de sistemas de dispensación*

Generación	Características	Aplicación en el Proyecto
Primera	Sistemas mecánicos básicos	-
Segunda	Integración con sistemas de información	Base de datos MySQL
Tercera	Validaciones clínicas	Verificación de autorizaciones EPS
Cuarta	IA y aprendizaje automático	Agentes de IA para interpretación

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de OpenAI (2026)

Interfaces conversacionales***Principios de diseño***

Las interfaces conversacionales efectivas se fundamentan en cinco elementos esenciales que permiten una interacción natural y eficiente con los usuarios (McTear, 2004). La comprensión del lenguaje natural constituye el primer componente, permitiendo al sistema interpretar las intenciones reales del usuario más allá de las palabras utilizadas.

La gestión del diálogo asegura el mantenimiento del contexto conversacional, permitiendo que el sistema recuerde información previa y mantenga coherencia en las interacciones prolongadas. Esto se complementa con la gestión efectiva de la información, que garantiza el acceso oportuno a datos relevantes para cada consulta específica.

La generación de respuestas contextualmente apropiadas representa otro elemento crucial, ya que determina la calidad percibida de la interacción. Finalmente, la presentación de información debe ser comprensible para usuarios no especializados, utilizando un lenguaje claro y estructuras de información intuitivas.

Experiencia de usuario en salud

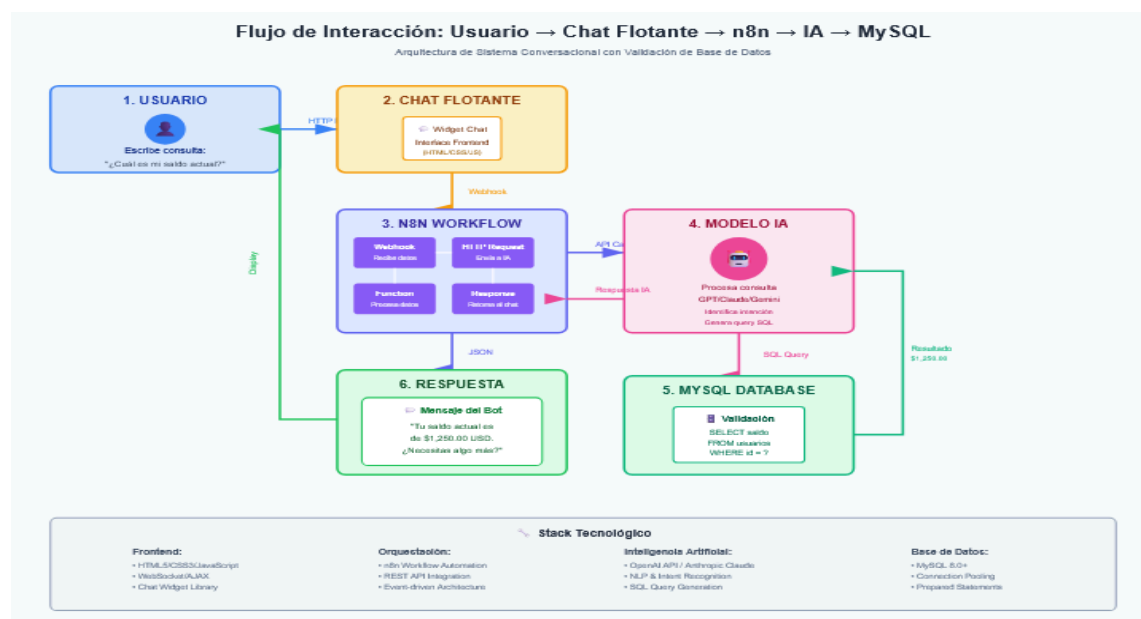
Los sistemas de salud presentan requisitos particulares en cuanto a experiencia de usuario debido a la criticidad de la información manejada (Nielsen, 2012). La prevención de errores

críticos se convierte en una prioridad absoluta, especialmente en procesos relacionados con medicamentos donde un error puede tener consecuencias graves para el paciente.

La recuperabilidad fácil de errores permite a los usuarios corregir información incorrecta sin perder el progreso de la consulta. La transparencia en los procesos resulta fundamental para generar confianza, especialmente cuando se involucran decisiones médicas automatizadas. La accesibilidad universal garantiza que usuarios con diferentes capacidades y niveles de alfabetización digital puedan utilizar el sistema efectivamente.

Figura 18

Flujo de interacción usuario-sistema en el chat conversacional



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Arquitecturas de software

Arquitectura por capas

El sistema implementa una arquitectura de tres capas que separa claramente las responsabilidades y facilita el mantenimiento y escalabilidad. La capa de presentación, desarrollada con HTML, CSS y JavaScript, proporciona la interfaz conversacional que permite la interacción directa con los usuarios finales.

La capa de lógica de negocio centraliza el procesamiento mediante workflows de n8n, integrando agentes de inteligencia artificial y ejecutando las validaciones de negocio específicas del dominio farmacéutico. Esta capa orquesta la comunicación entre la interfaz de usuario y los datos almacenados.

La capa de datos utiliza MySQL como sistema de gestión de base de datos, almacenando inventarios de medicamentos, información de pacientes y registros de citas. Esta separación permite optimizar cada capa independientemente y facilita futuras integraciones o modificaciones.

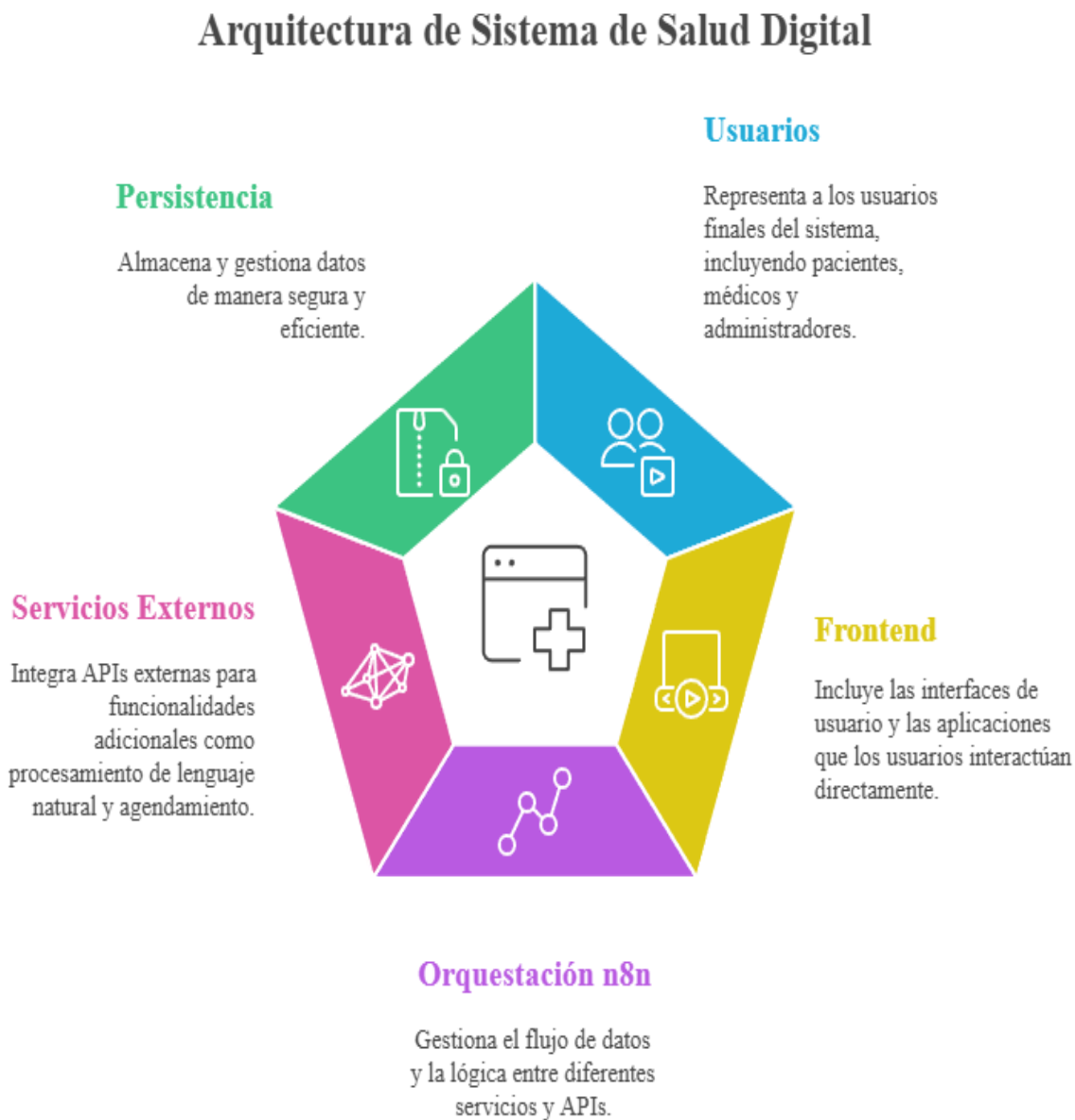
Integración de servicios

Los servicios se integran mediante APIs REST y webhooks, creando un ecosistema interconectado que maximiza las capacidades del sistema. La integración con Calendly API automatiza el agendamiento de citas, sincronizando disponibilidad y preferencias de los usuarios.

Google Gemini API proporciona las capacidades de procesamiento de inteligencia artificial necesarias para interpretar fórmulas médicas y generar respuestas contextualmente apropiadas. MySQL asegura la persistencia de datos y mantiene la integridad de la información crítica del sistema.

Figura 19

Diagrama de arquitectura del sistema con integraciones



Made with  Napkin

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando Napkin (2026)

Seguridad en sistemas de salud

Protección de datos médicos

La protección de datos médicos requiere un enfoque integral que considere todo el ciclo de vida de la información (Solove, 2008). El control en la recolección de información establece políticas claras sobre qué datos se capturan, por qué propósitos y bajo qué condiciones de consentimiento.

La seguridad durante el procesamiento implementa medidas técnicas y organizacionales para proteger los datos mientras son utilizados por el sistema. Las restricciones en la diseminación controlan quién puede acceder a qué información y bajo qué circunstancias. El respeto a la privacidad del paciente permea todas las funcionalidades del sistema, garantizando que los derechos fundamentales se mantengan en todo momento.

Cumplimiento normativo colombiano

El sistema debe cumplir rigurosamente con la Ley 1581 de 2012, que establece el marco general para la protección de datos personales en Colombia, definiendo obligaciones específicas para el tratamiento de información sensible como los datos médicos.

La Resolución 1403 de 2007 determina el modelo de gestión farmacéutica, estableciendo procedimientos específicos para la dispensación de medicamentos que el sistema debe respetar. El Decreto 780 de 2016 proporciona el marco reglamentario del sector salud, definiendo estándares técnicos y operacionales que influyen en el diseño del sistema.

Sistemas de agendamiento

Optimización de citas

Los sistemas de agendamiento médico se clasifican según diferentes estrategias de programación (Cayirli & Veral, 2003). Los intervalos fijos utilizan asignación uniforme de tiempo, proporcionando predictibilidad pero menor flexibilidad para diferentes tipos de servicios.

Los intervalos variables permiten adaptación por tipo de consulta, optimizando el tiempo según la complejidad esperada del servicio. Los sistemas de bloques agrupan citas similares, mejorando la eficiencia operacional del centro de dispensación. Los sistemas híbridos combinan diferentes enfoques según el contexto específico, maximizando tanto la eficiencia como la flexibilidad.

Algoritmos de programación

El sistema implementa algoritmos de programación que consideran múltiples variables para optimizar la asignación de citas. La disponibilidad de medicamentos en inventario determina la factibilidad de programar una cita específica, evitando frustraciones por medicamentos no disponibles.

La capacidad del centro de dispensación influye en la cantidad de citas que pueden programarse simultáneamente, considerando recursos humanos y físicos disponibles. Las preferencias del paciente en cuanto a horarios y fechas se balancean con la optimización de recursos, buscando satisfacer las necesidades individuales dentro de las restricciones operacionales del sistema.

Métricas de evaluación

Métricas técnicas

Tabla 6

Métricas técnicas

Métrica	Objetivo	Herramienta de Medición
Precisión en extracción	>95%	Comparación manual vs automatizada
Tiempo de respuesta	<30 segundos	Logs de n8n workflows
Disponibilidad del sistema	>99%	Monitoreo de uptime

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de OpenAI (2026)

Métricas de usabilidad

La evaluación de usabilidad del sistema representa un componente fundamental para garantizar que la solución tecnológica propuesta efectivamente responda a las necesidades reales de sus usuarios finales en el contexto de la dispensación de medicamentos. Para ello, se ha estructurado un marco de evaluación que integra tanto mediciones cuantitativas como cualitativas, permitiendo una valoración integral de la experiencia de usuario.

El tiempo de aprendizaje constituye una métrica crítica para la adopción exitosa del sistema en entornos de salud donde el personal debe responder ágilmente a las demandas operativas cotidianas. Se ha establecido como objetivo que un usuario promedio, sin experiencia previa con el sistema, pueda alcanzar un nivel de competencia operativa básica en menos de dos minutos. Este umbral se justifica considerando que las interfaces conversacionales, por su naturaleza intuitiva, deben minimizar la curva de aprendizaje y permitir interacciones naturales similares a una conversación humana. La medición de esta métrica se realizará mediante

observación directa durante las pruebas de usuario planificadas en la Fase 4 del proyecto, donde se registrará el tiempo transcurrido desde el primer contacto del usuario con la interfaz hasta el momento en que pueda completar exitosamente una tarea representativa del flujo de trabajo, como consultar la disponibilidad de un medicamento específico y agendar una cita de recolección.

La satisfacción del usuario se abordará mediante un enfoque cualitativo que complementa las mediciones cuantitativas previamente establecidas. Este componente contempla la aplicación del cuestionario System Usability Scale (SUS) al finalizar cada sesión de prueba con usuarios, herramienta estandarizada que permite obtener una valoración numérica global de la percepción de usabilidad del sistema con un objetivo superior a setenta puntos sobre cien. Sin embargo, reconociendo que los números por sí solos no capturan la riqueza de la experiencia del usuario, se implementarán también entrevistas semi-estructuradas posteriores al uso del sistema. Estas entrevistas permitirán explorar aspectos subjetivos como la confianza percibida en la información proporcionada por el sistema, la claridad en las respuestas generadas por los agentes de inteligencia artificial, y la comodidad emocional al interactuar con una interfaz automatizada para gestionar cuestiones relacionadas con tratamientos médicos.

Tiempo de aprendizaje: <2 minutos para usuario promedio

Satisfacción del usuario: Medición cualitativa post-uso

Tecnologías específicas utilizadas

Stack tecnológico

La selección del stack tecnológico se basa en criterios de estabilidad, escalabilidad y compatibilidad con el ecosistema de salud colombiano. MySQL 8.0.42 constituye el núcleo de

gestión de datos relacionales, proporcionando robustez y confiabilidad para el manejo de información crítica de pacientes y medicamentos. Su diseño normalizado optimiza las consultas frecuentes y garantiza la integridad referencial de los datos médicos.

La orquestación del sistema se fundamenta en n8n Community Edition, que facilita la automatización de workflows complejos mediante una interfaz visual intuitiva. Esta plataforma permite la configuración de nodos especializados para cada función del sistema, desde el procesamiento de fórmulas médicas hasta la gestión de notificaciones, manteniendo la trazabilidad completa de cada proceso.

El componente de inteligencia artificial utiliza Google Gemini 2.0 Flash Lite, un modelo multimodal optimizado para el procesamiento eficiente de texto e imágenes. Los prompts han sido específicamente diseñados y optimizados para la extracción precisa de información médica, considerando las particularidades del contexto farmacéutico colombiano y la terminología médica local.

El frontend emplea tecnologías web estándares como HTML5, CSS3 y JavaScript, evitando dependencias de frameworks complejos que podrían comprometer la estabilidad o requerir actualizaciones frecuentes. El diseño responsivo asegura accesibilidad desde diferentes dispositivos sin comprometer la funcionalidad o la experiencia de usuario.

Integraciones externas

Las integraciones externas amplían las capacidades del sistema conectándolo con servicios especializados ampliamente adoptados. La integración con Calendly automatiza la generación de enlaces de citas, aprovechando una plataforma probada para la gestión de agendas y sincronización de calendarios.

El sistema SMTP proporciona un canal confiable para el envío de notificaciones por correo electrónico, garantizando la entrega de confirmaciones y recordatorios importantes.

Diseño metodológico

Enfoque metodológico

El desarrollo del sistema se fundamenta en una adaptación de la metodología Scrum con sprints de dos semanas, diseñada específicamente para el contexto académico y las restricciones temporales del proyecto. Esta metodología ágil permite entregas incrementales de funcionalidad, facilitando la adaptación a cambios en requisitos y proporcionando retroalimentación continua durante todo el proceso de desarrollo.

La selección de esta metodología se justifica por su capacidad de priorización efectiva de características según su valor para el usuario final, permitiendo concentrar esfuerzos en funcionalidades críticas del sistema. La adaptación al contexto individual mantiene los principios fundamentales de Scrum mientras ajusta ceremonias y artefactos a las particularidades de un proyecto de grado.

La gestión del proyecto utiliza GitHub Projects como herramienta de seguimiento del backlog de producto y tareas pendientes, permitiendo visualizar el progreso de forma transparente y mantener trazabilidad de cambios. El backlog se prioriza semanalmente, asegurando que el desarrollo se enfoque en los componentes de mayor valor para los objetivos del proyecto.

Metodología de investigación

Se incorporan elementos de investigación evaluativa mediante un enfoque de métodos mixtos que combina técnicas cualitativas y cuantitativas. La evaluación formativa se realiza durante el desarrollo, permitiendo ajustes iterativos basados en hallazgos preliminares y validaciones parciales de componentes.

La evaluación sumativa se implementa al finalizar el prototipo, proporcionando una valoración integral del sistema desarrollado mediante métricas específicas y pruebas de usuario controladas. Este enfoque dual asegura tanto la calidad progresiva del desarrollo como la validación final de objetivos alcanzados.

Los puntos de control quincenales con el asesor del proyecto funcionan como revisiones de Sprint, permitiendo validar avances técnicos y reorientar esfuerzos según sea necesario. Esta estructura de seguimiento garantiza adherencia a cronogramas y calidad en los entregables.

Figura 20

Esquema metodológico del proyecto



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Proceso de desarrollo

Fase 1: Análisis y planificación

La primera fase establece las bases conceptuales y técnicas del proyecto mediante la definición detallada de requisitos funcionales y no funcionales. Se utiliza una matriz de requisitos con criterios de aceptación específicos, asegurando claridad en expectativas y facilitando validaciones posteriores.

La investigación documental sobre agentes de IA en n8n y sus capacidades de procesamiento de lenguaje natural se realiza mediante revisión sistemática de documentación oficial y casos de uso relevantes. Esta investigación informa decisiones arquitectónicas y define limitaciones técnicas del sistema.

El diseño de la arquitectura del sistema y flujos de trabajo se documenta en el mismo n8n, proporcionando una guía clara para la implementación. La configuración del entorno de desarrollo local utiliza Docker para garantizar reproducibilidad y aislamiento de dependencias, facilitando despliegues posteriores.

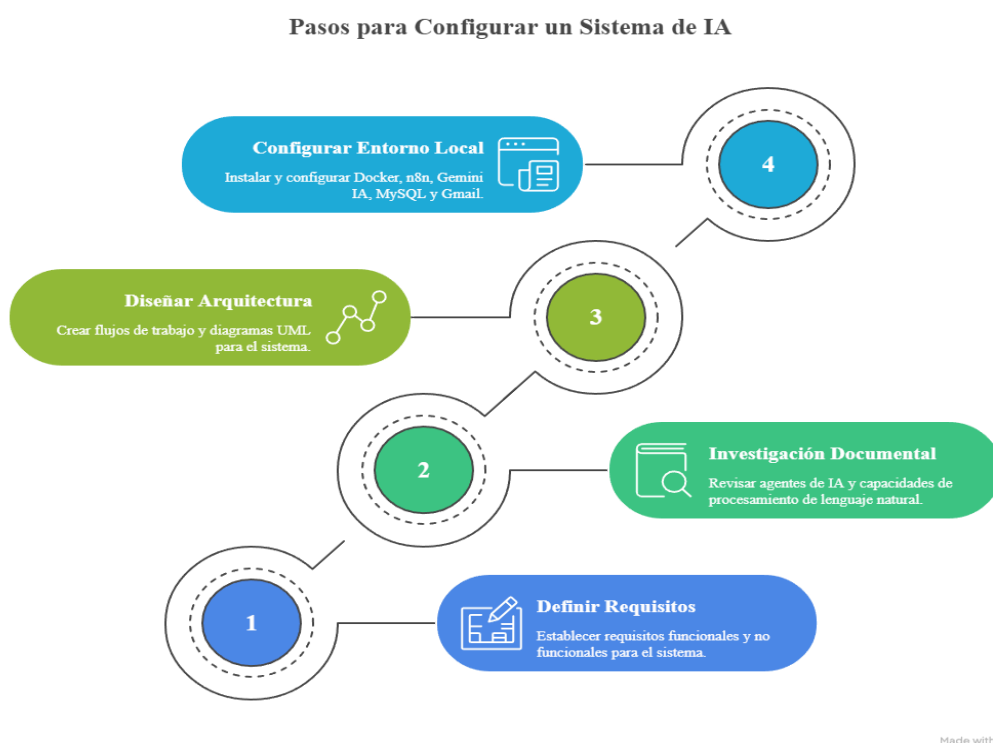
Ejemplo de configuración Docker para n8n

```
FROM n8nio/n8n:latest  
EXPOSE 5678  
VOLUME ["/home/node/.n8n"]  
ENV N8N_BASIC_AUTH_ACTIVE=true  
ENV N8N_BASIC_AUTH_USER=admin  
ENV N8N_BASIC_AUTH_PASSWORD=password
```

El diseño de base de datos para inventario de medicamentos y sistema de agendamiento produce un modelo entidad-relación completo con scripts SQL correspondientes, estableciendo la estructura fundamental para el almacenamiento de información.

Figura 21

Diagrama de flujo de la Fase 1



Fuente. Imagen generada por el autor utilizando Napkin (2026)

Fase 2: Desarrollo de componentes

La implementación del sistema de consulta conversacional utiliza desarrollo iterativo con pruebas de usuario simplificadas, midiendo tasa de completitud de tareas y tiempo de realización

como métricas principales. Este enfoque asegura usabilidad desde etapas tempranas del desarrollo.

La integración de agentes de IA para procesamiento de fórmulas médicas emplea desarrollo basado en pruebas (TDD), garantizando calidad y confiabilidad en componentes críticos. Las métricas de precisión en interpretación y tasa de error proporcionan indicadores objetivos de rendimiento.

```
# Ejemplo de configuración de agente de IA

import requests

import json

def configure_gemini_agent():

    config = {

        "model": "gemini-2.0-flash-lite",

        "temperature": 0.1,

        "max_tokens": 1000,

        "system_prompt": "Eres un experto en interpretación de fórmulas médicas..."

    }

    return config
```

La configuración inicial de n8n y workflows básicos para procesamiento de información genera workflows documentados con diagramas de flujo detallados, facilitando comprensión y mantenimiento posterior. La implementación de la base de datos utiliza desarrollo incremental con validación de integridad continua.

El desarrollo del sistema de agendamiento para recolección de medicamentos emplea pruebas unitarias automatizadas, produciendo un módulo funcional de gestión de citas robusto y confiable.

Tabla 7

Métricas de calidad por componente

Componente	Métrica de Calidad	Indicador	Valor Esperado	Método de Medición
Base de Datos	Tiempo de respuesta de consultas	Milisegundos (ms)	< 200 ms	Promedio de tiempo de ejecución de 10 consultas principales
Base de Datos	Integridad referencial	Porcentaje (%)	100%	Verificación de relaciones FK sin errores
Backend/API	Disponibilidad del servicio	Porcentaje (%)	$\geq 99\%$	Tiempo activo / Tiempo total $\times 100$ (depende si se mantiene el docker encendido)
Backend/API	Tasa de error en peticiones	Porcentaje (%)	< 1%	$(0 / 42) \times 100$
Frontend/Interfaz	Compatibilidad navegadores	Porcentaje (%)	100%	Pruebas en Chrome, Firefox, Edge, Safari
Frontend/Interfaz	Usabilidad (SUS Score)	Puntuación	≥ 70	Cuestionario System Usability Scale

Seguridad	Cumplimiento HTTPS	Porcentaje (%)	100%	Verificación de certificado SSL/TLS
IA	Contestación IA	Porcentaje (%)	$\geq 99\%$	Consultas exitosos / Total intentos $\times 100$ (42 / 42) * 100
Sistema Completo	Funcionalidades operativas	Porcentaje (%)	100%	Funciones operativas / Total funciones $\times 100$
Sistema Completo	Satisfacción del usuario	Puntuación	$\geq 4/5$	Encuesta post-implementación

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de OpenAI (2026)

Fase 3: Integración y workflows

La configuración avanzada de agentes de IA en n8n utiliza configuración progresiva con pruebas de integración continuas, asegurando compatibilidad entre componentes y rendimiento óptimo del sistema integrado.

El desarrollo de workflows completos para verificación y agendamiento produce documentación detallada de cada workflow, incluyendo diagramas de flujo y especificaciones técnicas. La integración de todos los componentes en el entorno local emplea integración continua con pruebas automatizadas.

```
// Ejemplo de workflow n8n para procesamiento de fórmula
{
  "nodes": [
    {
      "name": "Webhook",
      "type": "n8n-nodes-base.webhook",
```

```

    "position": [250, 300]
  },
  {
    "name": "Gemini AI",
    "type": "n8n-nodes-base.gemini",
    "position": [450, 300]
  },
  {
    "name": "MySQL",
    "type": "n8n-nodes-base.mysql",
    "position": [650, 300]
  }
]
}

```

La optimización de rendimiento de los agentes de IA mide tiempo de procesamiento y precisión en la interpretación de fórmulas como métricas clave. La implementación del sistema de notificaciones por correo electrónico genera plantillas de correo para disponibilidad y confirmación de citas, junto con flujos automatizados de envío de comunicaciones.

Fase 4: Pruebas y Refinamiento

Las pruebas de usuario en entorno controlado involucran entre 8 y 10 usuarios ficticios representando pacientes y personal de dispensación. Se utiliza el cuestionario SUS (System

Usability Scale) como instrumento de evaluación, proporcionando métricas estandarizadas de usabilidad.

-- Ejemplo de script para métricas de sistema

```
CREATE VIEW system_metrics AS

SELECT

DATE(created_at) as date,

COUNT(*) as total_queries,

AVG(processing_time) as avg_processing_time,

SUM(CASE WHEN status = 'success' THEN 1 ELSE 0 END) / COUNT(*) * 100 as

success_rate

FROM query_logs

GROUP BY DATE(created_at);
```

El análisis cuali-cuantitativo de resultados informa la corrección de errores y optimización del sistema, utilizando priorización basada en impacto y factibilidad. La documentación técnica y de usuario produce manuales completos, guías de instalación y documentación de API.

El refinamiento del sistema de consulta y agendamiento se basa en resultados de pruebas de usuario y análisis de precisión, asegurando que el sistema final cumple con expectativas de rendimiento y usabilidad.

Fase 5: Finalización y entrega

El despliegue en ambiente controlado local utiliza implementación progresiva con verificación de componentes, asegurando estabilidad del sistema en condiciones reales de uso.

Las pruebas finales del sistema emplean pruebas de aceptación con escenarios reales de verificación y agendamiento.

Gestión de riesgos metodológicos

Se establece un plan de contingencia integral para abordar riesgos identificados durante la planificación. Las limitaciones en la precisión de los agentes de IA se mitigan mediante implementación de sistemas de verificación manual y mejora continua de algoritmos de procesamiento de lenguaje natural.

Los retrasos en cronograma se gestionan mediante priorización de funcionalidades mínimas viables, con identificación clara de características esenciales versus deseables. Las limitaciones en herramientas de código abierto se abordan con diseño modular que permite sustitución de componentes según necesidades identificadas.

Tabla 8*Cronograma detallado de actividades*

ID	Riesgo	Categoría	Probabilidad	Impacto	Nivel	Descripción Detallada	Estrategia de Mitigación	Plan de Contingencia	Responsable
RT-01	Imprecisión en la extracción de datos del modelo Gemini 2.0 Flash Lite	IA/ML	Mediana-Alta	Alto	CRÍTICO	El agente de IA podría fallar en la interpretación correcta de fórmulas médicas manuscritas, imágenes borrosas o formatos no estandarizados, extrayendo nombres de medicamentos, dosis o concentraciones incorrectas.	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar prompts altamente especializados con ejemplos y formato JSON estricto • Configurar maxIterations: 3 para reintento automático • Validación cruzada con base de datos de 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de verificación manual donde operadores humanos revisan extracciones con confianza < 70% • Flujo alternativo que solicita al usuario confirmar 	Desarrollador IA

						medicamentos existentes	datos críticos		
						• Implementar lógica de búsqueda fuzzy en nodo "MySQL (Buscar medicamentos)"	• Logs detallados en Code nodes para auditoría post-error		
RT-02	Fallo en la generación de consultas SQL por el segundo agente de IA	Ba se de Da tos	Medi a	Alto	CRÍTICO	El nodo "AI Agent1" (Generador SQL) podría crear queries malformados, con sintaxis incorrecta o que no coincidan con el esquema de la base de datos sistema_medicamentos	• Prompt del sistema altamente estructurado con ejemplos de queries correctas • Nodo "parsear el code" con validación de sintaxis SQL antes de ejecución • Uso de prepared statements	• Template de queries SQL predefinidas como fallback • Sistema de logs detallado que captura errores SQL para análisis • Implementar try-catch en nodos Code con queries alternativas hardcoded	Desarrollado r Backend

							implícitos en nodos MySQL de n8n • Testing exhaustivo con dataset variado de medicamentos		
RT-03	Sobrecarga de solicitudes concurrente s en n8n	Inf rae str uct ura	Baja- Medi a	Medio	MOD ERAD O	Múltiples usuarios consultando simultáneamente podrían saturar los workers de n8n, causando timeouts o procesamiento lento en workflows "Sistema_de_consulta _con_agente_ia".	• Configurar límites de conurrencia en n8n settings • Implementar sistema de colas (Queue Mode) en n8n • Optimización de workflows eliminando nodos innecesarios • Caché de consultas	• Escalado horizontal de instancias n8n con Docker Swarm/Kubern etes • Implementar rate limiting en webhooks de entrada • Mensajes informativos al usuario sobre tiempos de espera	DevOps/Arq uitecto

RT-04	Fallo en conexión con API externa de Gemini (Google PaLM API)	Servicios Externos	Media	Alto	CRÍTICO	Interrupciones en Google Cloud, límites de rate API excedidos o problemas de red podrían dejar inoperativos los agentes de IA.	frecuentes en MySQL <ul style="list-style-type: none"> • Implementar retry logic con backoff exponencial en nodos AI Agent • Monitoreo de estado de API mediante Health Check endpoint • Configurar timeouts adecuados (30-60s) • Documentar límites de rate (TPM/RPM) de Gemini 2.0 Flash 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de notificación inmediata al administrador • Cola de solicitudes pendientes que se reintenta automáticamente • Página de mantenimiento informativa para usuarios • Considerar modelo local Llama/Mixtral como backup futuro 	Desarrollador IA
RT-05	Corrupción de datos en MySQL	Bases de datos	Baja	Muy Alto	CRÍTICO	Operaciones críticas como UPDATE de separado_en_stock en	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar transacciones ACID explícitas 	<ul style="list-style-type: none"> • Scripts de reconciliación que detectan y 	Administrador BD

por transacciones fallidas

Daños

tabla medicamentos podrían fallar a mitad, dejando inconsistencias en inventario.

en nodos MySQL

- Uso de InnoDB engine con auto-commit deshabilitado
- Validaciones pre y post-actualización en nodos

Code

- Backups automáticos diarios de BD

corrigen inconsistencias

- Logs de auditoría completos (query_logs table)
- Procedimientos almacenados con ROLLBACK en caso de error
- Sistema de notificación de anomalías en inventario

RT-06 Fallo en integración con Gmail API

Servicios Externos

Mediana

Medio

MOD ERADO

El nodo "Gmail Trigger" podría no detectar correos de Calendly por cambios en formato, límites de

- Autenticación con Service Account (más estable que OAuth user)
- Filtros

- Sistema de fallback con webhook HTTP directo desde Calendly
- Cola de

Desarrollador Backend

						API o problemas de autenticación OAuth.	robustos: subject:(...)from: notifications@calendly.com	correos no procesados para reintento manual	
							<ul style="list-style-type: none"> • Polling cada minuto con manejo de errores • Validación de credenciales antes de ejecución 	<ul style="list-style-type: none"> • Alertas al administrador por fallo > 5 minutos • Documentación de reautenticación de Service Account 	
RT-07	Incompatibilidad entre versiones de dependencias (n8n, MySQL, Node.js)	Maneja	Baja	Medio	MOD ERAD O	Actualizaciones de n8n Community Edition podrían romper workflows existentes o compatibilidad con nodos especializados (@n8n/n8n-nodes-langchain).	<ul style="list-style-type: none"> • Versionado estricto en docker-compose.yml • Entorno de staging para probar actualizaciones • Exportación periódica de 	<ul style="list-style-type: none"> • Rollback inmediato a versión anterior estable • Ambientes Docker aislados por versión • Plan de migración 	DevOps

							workflows como gradual de
							JSON workflows
							• Contacto con
							Documentación comunidad
							de versiones n8n para issues
							exactas usadas críticos
RT-08	Fallo en normalización de números telefónicos para WhatsApp	Integración	Medio	Medio	MOD ERAD O	El nodo "alistar para envío" podría generar formatos incorrectos (falta @c.us, código de país erróneo), causando que el bot WhatsApp no envíe mensajes.	

Fuente. Imagen generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Los problemas de integración entre componentes se previenen mediante implementación de pruebas de integración desde fases tempranas y documentación clara de interfaces entre módulos. Los fallos en el sistema de agendamiento cuentan con desarrollo de sistema de respaldo manual para garantizar continuidad del servicio.

1. Riesgos técnicos
2. Riesgos de seguridad y privacidad

Tabla 9

Matriz de riesgos y mitigaciones

I	Riesgo	Catego	Probab	Impa	Nivel	Descripción	Estrategia de	Plan de	Responsable
D		ría	ilidad	cto		Detallada	Mitigación	Contingencia	
RS-01	Exposic ión de datos sensible s de paciente s por logs no sanitiza dos	Privaci dad	Media	Muy Alto	CRÍTI CO	Nodos Code con console.log() podrían exponer documento de identidad, nombres, fórmulas médicas en	• Sanitización obligatoria de logs en todos los Code nodes • Enmascaramient o de datos: doc ****1234, nombre J*** B***	• Auditoría inmediata de logs existentes • Purga de logs con datos sensibles • Implementar política de retención máxima 30	Oficial de Seguridad

						logs de n8n accesibles a administrador es. Violación directa de Ley 1581/2012 y Habeas Data.	• Revisión de código pre-producción enfocada en logs • Configurar n8n para no persistir execution data sensible	días • Notificación obligatoria según Ley 1581 si hay brecha	
R S - 0 2	Acceso no autoriza do a base de datos MySQL	Segurid ad	Baja- Media	Muy Alto	CRÍTIC O	Credenciales de MySQL hardcodeadas o débiles podrían permitir acceso externo a tablas con datos sensibles (pacientes, fórmulas_mé dicas).	• Credenciales fuertes almacenadas en n8n Credentials Manager (encriptadas) • Usuario MySQL con permisos mínimos (SELECT, INSERT, UPDATE, no DROP)	• Reseteo inmediato de credenciales comprometidas • Auditoría de accesos en MySQL logs • Backup inmediato antes de restaurar • Evaluación de impacto según	Administrador Seguridad

							<ul style="list-style-type: none"> • Conexión solo desde localhost/Docker network • Firewall que bloquea puerto 3306 externo • Cambio periódico de contraseñas (cada 90 días) 	RGPD/Ley 1581	
R S - 0 3	Inyección SQL a través de inputs mal sanitizados	Seguridad	Baja	Alto	CRÍTICO	Aunque no usa prepared statements, la generación dinámica de SQL por IA en "AI Agent1" podría introducir vulnerabilida	<ul style="list-style-type: none"> • Validación estricta de output del AI Agent1 en "parsear el code" • Whitelist de caracteres permitidos en nombres de medicamentos • Uso exclusivo 	<ul style="list-style-type: none"> • WAF (Web Application Firewall) como capa adicional • Monitoreo de queries anómalas en MySQL slow query log • Rollback automático de 	Desarrollador Seguridad

						des si no se valida correctamente.	de queries parametrizadas • Testing de penetración con payloads SQL injection	transacciones sospechosas • Logs forenses para análisis post-incidente	
R S - 0 4	Exposic ión de webhoo ks públicos de n8n sin autentic ación	Segurid ad	Media	Alto	ALTO	El nodo "When chat message received" con webhook público podría ser abusado para spam, DDoS o inyección de datos maliciosos al sistema.	• Implementar autenticación básica o token en webhooks • Rate limiting por IP en reverse proxy (Nginx) • Validación de origen (CORS, referer checks) • CAPTCHA en frontend para usuarios humanos	• Deshabilitar temporalmente webhooks bajo ataque • Blacklist de IPs maliciosas en firewall • Análisis de patrones de tráfico para detectar bots • Migrar a webhook autenticado con JWT	DevOps/Seguridad

R S - 0 5	Falta de encripta ción en comuni cación entre compon entes	Segurid ad	Media	Alto	ALTO	Datos sensibles viajando sin TLS/SSL entre n8n, MySQL y servicios externos podrían ser interceptados en ataques man-in-the-m iddle.	<ul style="list-style-type: none"> • Forzar conexiones MySQL con SSL/TLS • Usar HTTPS para todos los HTTP Request nodes • Certificado SSL/TLS válido para dominio del chat • VPN o Docker network privado para comunicación interna 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación urgente de Let's Encrypt para HTTPS • Túnel SSH para conexiones MySQL sensibles • Auditoría de tráfico de red para detectar transmisiones claras • Educación al equipo sobre mejores prácticas 	Arquitecto de Seguridad
R S -	Retenci ón excesiv	Cumpli miento	Media	Alto	ALTO	Almacenamie nto indefinido de	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar política de retención: 12 		

0	a de	fórmulas	meses para datos
6	datos	médicas en	médicos
	personal	tabla	• Script
	es sin	formulas_me	automático de
	consenti	dicas sin	purga en
	miento	política de	workflow
	explícit	purga podría	"Notificación_li
	o	violar	sta_de_espera"
		principio de	• Anonimización
		minimización	de datos
		(Ley 1581,	antiguos (hash
		RGPD).	documento,
			eliminar
			nombres)
			•
			Consentimiento
			informado en int

Fuente. Tabla generada por el autor utilizando el modelo Gemini de Google (2026)

Conclusiones

El prototipo desarrollado demuestra la viabilidad técnica de un sistema de consulta basado en agentes de inteligencia artificial orquestados con n8n para verificar la disponibilidad de medicamentos en fórmulas médicas y apoyar el agendamiento de citas para su recogida. Esta solución contribuye a reducir desplazamientos innecesarios y tiempos de espera de los pacientes en farmacias de EPS en Colombia, respondiendo al problema de falta de información previa sobre disponibilidad de medicamentos.

La arquitectura se implementó en un entorno completamente local utilizando tecnologías de código abierto, lo que elimina la dependencia de servicios en la nube de pago y reduce riesgos asociados al tratamiento de datos sensibles de pacientes. Este enfoque permite que farmacias y prestadores de servicios de dispensación con recursos limitados puedan adoptar la solución sin incurrir en costos de suscripción elevados, alineándose con la necesidad de modelos de bajo costo en el sistema de salud colombiano.

Los flujos de trabajo configurados en n8n integran la interpretación de fórmulas médicas, la verificación de inventarios y el agendamiento de citas, automatizando procesos que tradicionalmente se realizan de forma manual. Esta automatización disminuye la carga operativa del personal farmacéutico y reduce la probabilidad de errores derivados de la transcripción e interpretación manual de prescripciones.

El uso de agentes de inteligencia artificial basados en modelos multimodales permite extraer información clave de las fórmulas médicas, como datos del paciente, medicamentos y cantidades, incluso cuando el documento presenta estructuras variadas. A partir de esta información, el sistema realiza consultas sobre un inventario gestionado en una base de datos

MySQL y genera respuestas claras para el usuario sobre disponibilidad y requisitos para la dispensación.

El sistema de consulta conversacional brinda a los pacientes un canal accesible para verificar la disponibilidad de medicamentos sin necesidad de desplazarse físicamente al punto de dispensación. Cuando los medicamentos no se encuentran disponibles, el prototipo gestiona una lista de espera y envía notificaciones cuando se actualiza el stock, lo que aporta una experiencia más integral para el usuario al cubrir todo el ciclo de consulta y seguimiento.

El módulo de agendamiento integrado, apoyado en la generación automática de enlaces de Calendly y flujos de validación de correos de confirmación, organiza las citas de recogida y actualiza el inventario reservado en la base de datos. De esta manera, el sistema contribuye a una gestión más eficiente de la demanda y a la reducción de aglomeraciones en puntos de dispensación farmacéutica.

La implementación del sistema evidenció la importancia de la documentación técnica y funcional para garantizar la mantenibilidad y la futura ampliación del prototipo. La estructura modular de los workflows y la definición clara de componentes y nodos facilitan la comprensión del sistema y sientan las bases para su escalabilidad y adaptación a otros contextos del sector salud.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que un sistema basado en inteligencia artificial y herramientas de automatización de código abierto puede mejorar la eficiencia y accesibilidad en la consulta y dispensación de medicamentos recetados en las farmacias de EPS en Colombia. El prototipo desarrollado aporta evidencia práctica de que la integración de agentes de IA, orquestación de flujos y procesamiento local de datos constituye una alternativa viable para optimizar procesos críticos en el servicio farmacéutico.

Recomendaciones

Recomendaciones para la implementación

Realizar capacitación previa al personal farmacéutico sobre el uso del sistema conversacional y los flujos de agendamiento, asegurando una adopción efectiva de la tecnología.

Implementar una fase piloto en un centro de dispensación específico antes del despliegue masivo, permitiendo identificar ajustes necesarios en un entorno controlado.

Establecer protocolos de respaldo manual para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallas técnicas o pérdida de conectividad a internet.

Monitorear continuamente las métricas de precisión de los agentes de IA y ajustar los prompts según los patrones de error identificados en la operación real.

Recomendaciones para trabajos futuros

Integrar modelos de inteligencia artificial locales (como LLaMA o Mixtral) para reducir la dependencia de servicios externos y garantizar operación en entornos sin conectividad estable.

Desarrollar módulos de analítica avanzada que permitan a los administradores visualizar indicadores clave de desempeño en tiempo real mediante dashboards interactivos.

Extender el sistema para incluir otros procesos farmacéuticos como farmacovigilancia, seguimiento de adherencia terapéutica y reconciliación de medicamentos.

Evaluar la integración con aplicaciones móviles nativas y portales web de EPS para ampliar el alcance y accesibilidad de la solución a diversos perfiles de usuarios.

Limitaciones

El prototipo se evaluó en un entorno controlado con una base de datos de inventario simulada, por lo que no se incluyeron pruebas en un sistema de información farmacéutico real conectado a prestadores de servicios de dispensación en operación.

El sistema se desplegó en un solo entorno local y no se analizaron escenarios de alta concurrencia ni integración con infraestructuras de EPS de gran escala, limitando la validación de rendimiento en contextos de producción.

La evaluación de usabilidad se limitó a pruebas técnicas del flujo conversacional con usuarios simulados, sin involucrar aún a un grupo amplio de pacientes reales y personal farmacéutico en contexto operativo.

El modelo de IA utilizado (Gemini 2.0 Flash Lite) requiere conectividad a internet para funcionar, lo que representa una dependencia externa que podría afectar la disponibilidad del sistema en entornos con conectividad limitada.

El sistema no incluye módulos de analítica avanzada ni tableros de control que permitan a los administradores monitorear indicadores de desempeño en tiempo real.

Trabajo futuro

Integrar el prototipo con sistemas de información farmacéutica reales utilizados por EPS y hospitales (como sistemas de dispensación comerciales) para validar su desempeño en contextos productivos y medir el impacto real en indicadores de servicio.

Ampliar las pruebas de usabilidad con pacientes reales y personal de farmacia en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos para ajustar la interfaz conversacional y los flujos de agendamiento según sus necesidades específicas.

Incorporar módulos de analítica que midan indicadores como reducción de tiempos de espera, disminución de visitas infructuosas, tasa de adherencia terapéutica y mejora en la continuidad de los tratamientos.

Explorar la integración con otros canales de comunicación, como aplicaciones móviles nativas, portales web de EPS y sistemas de mensajería institucional, para aumentar el alcance y accesibilidad de la solución.

Desarrollar capacidades de aprendizaje automático que permitan al sistema mejorar continuamente su precisión en la interpretación de fórmulas médicas basándose en retroalimentación de usuarios y validaciones históricas.

Implementar funcionalidades de predicción de demanda de medicamentos mediante análisis de patrones históricos, para optimizar la gestión de inventarios y reducir desabastecimientos.

Evaluar la viabilidad de extender el sistema para gestionar otros procesos farmacéuticos, como farmacovigilancia, seguimiento de adherencia terapéutica y reconciliación de medicamentos.

Referencias bibliográficas

Club de la Farmacia. (2023, 14 de diciembre). *Cómo utilizar ChatGPT en la farmacia para una mejor experiencia del cliente.*

<https://www.clubdelafarmacia.com/para-estar-al-dia/el-blog-del-club/como-utilizar-chatgpt-en-la-farmacia-para-una-mejor-experiencia-del-cliente/>

Computing. (2024, 22 de diciembre). *La IA ayuda en la gestión de los medicamentos.*

<https://www.computing.es/analytics/ia-ayuda-gestion-medicamentos/>

Farmaceando. (2025, 8 de abril). *Servicios IA en farmacia: Innovación y eficiencia para la atención al paciente.*

<https://farmaceando.com/blog/servicios-ia-en-farmacia-innovacion-y-eficiencia-para-la-atencion-al-paciente/>

Fisher Scientific. (s.f.). *Aplicaciones farmacéuticas de la inteligencia artificial.*

<https://www.fishersci.es/es/es/scientific-products/publications/lab-reporter/2021/issue-1/pharmaceutical-applications-of-artificial-intelligence.html>

Fowler, M. (2019). *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Professional.

Hospitecnia. (s.f.). *Crean un sistema inteligente que agiliza la dispensación de medicamentos en hospitales.*

<https://hospitecnia.com/servicios-hospitalarios/crean-un-sistema-inteligente-que-agiliza-la-dispensacion-de-medicamentos-en-hospitales/>

Institute of Medicine. (2021). *Medication Errors in Healthcare Settings: Prevention and Technology Solutions.*

Jurafsky, D., y Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing* (3.^a ed.). Pearson.

LUDA Partners. (2024, 4 de septiembre). *Inteligencia artificial en farmacia comunitaria*. <https://ludapartners.com/blog/inteligencia-artificial-farmacia-comunitaria/>

McTear, M. F. (2004). *Spoken dialogue technology: toward the conversational user interface*. Springer Science & Business Media.

Mustaffa, N. H., y Potter, A. (2009). Healthcare supply chain management in Malaysia: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(3), 234-243.

Nielsen, J. (2012). *Medical usability: how to kill patients through bad design*. Nielsen Norman Group.

Russell, S., y Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: a modern approach* (4.^a ed.). Pearson.

Singhal, K., et al. (2023). Large language models encode clinical knowledge. *Nature*, 620(7972), 172-180.

Solove, D. J. (2008). *Understanding privacy*. Harvard University Press.

TECH Universidad Internacional. (2025, 30 de junio). *Máster en Inteligencia Artificial en Farmacia*. <https://www.techtitute.com/farmacia/master-formacion-permanente/master-formacion-permanente-inteligencia-artificial-farmacia>

Unbosque. (s.f.). *Auditoría de prescripción de medicamentos formulados en los hospitales universitarios*.

<https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstreams/f04553ef-2cc5-42f9-bd8a-6ff661b83c14/download>

Van der Aalst, W. M. (2016). *Process mining: data science in action*. Springer.

Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.

Anexos

Anexo A

Manual del usuario

Proyecto: Almelia IA - Verificación de Medicamentos

1. Introducción

Bienvenido al sistema Almelia IA. Este asistente inteligente le ayudará a consultar la disponibilidad de sus medicamentos y agendar su cita de entrega de forma rápida y sencilla mediante chat conversacional.

2. Guía de uso del chat

Inicio de consulta: Salude al chat e identifíquese. Proporcione su nombre completo y número de identificación (cédula).

Solicitud de medicamentos: Escriba los nombres de los medicamentos que necesita. También puede adjuntar una foto de su fórmula médica si está disponible.

Verificación: El sistema responderá qué medicamentos están disponibles (✅), cuáles están agotados (❌) y cuáles requieren receta médica (📄✍️).

Agendamiento: Haga clic en el botón "Agendar Cita". Se abrirá un calendario donde podrá elegir el horario de entrega. Sus datos ya estarán allí, ¡no necesita escribirlos de nuevo!

3. Preguntas frecuentes

Problema	Solución
----------	----------

El chat no reconoce mi cédula	Asegúrese de escribir solo números, sin puntos ni espacios.
-------------------------------	---

No hay disponibilidad del medicamento	El sistema le sugerirá alternativas o le indicará cuándo habrá stock.
---------------------------------------	---

Nota: Recuerde llevar su documento de identidad y la fórmula médica original al momento de la cita.

Anexo B

Manual del programador

Sistema: Almelia IA - Verificación Farmacéutica Inteligente

Versión: 2.0 (Integración Gemini API)

1. Stack tecnológico detallado

El sistema Almelia IA ha sido construido bajo una filosofía de microservicios y bajo acoplamiento:

n8n (Versión Community): Motor de orquestación basado en flujos de nodos. Gestiona la lógica de control y conectividad.

Google Gemini 1.5 Flash: Modelo de lenguaje de gran tamaño (LLM) utilizado para el Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) y Extracción de Entidades Nombradas (NER).

MySQL 8.0: Motor de base de datos relacional para la persistencia de inventarios y datos sensibles de pacientes.

Docker engine: Entorno de contenedores para garantizar que el sistema funcione idénticamente en cualquier servidor.

Calendly API: Servicio externo para la gestión de estados de agenda y reserva de turnos físicos.

2. Arquitectura del sistema

El flujo de datos sigue un patrón de tubería y filtro (Pipes and Filters) procesado de manera asíncrona:

Flujo lógico:

Entrada (Web/Chat) → Agent Gemini (Parsing) → Validación JavaScript (Limpieza) → Query MySQL (Búsqueda) → Lógica de Equivalencias (Code) → Generación URL Dinámica (Calendly) → Respuesta al Usuario.

3. Variables de entorno y seguridad

Para la operación del sistema, se requieren las siguientes claves configuradas en el entorno de n8n:

GEMINI_API_KEY=AIzaSy... (Obtenida en Google AI Studio)

MYSQL_HOST=192.168.0.6

MYSQL_PORT=3306

MYSQL_USER=n8n_user

MYSQL_PASSWORD=n8n123

MYSQL_DATABASE=sistema_medicamentos

CALENDLY_URL=https://calendly.com/almelia/30min

Seguridad: Todas las credenciales deben almacenarse en el gestor de credenciales cifrado de n8n. No se deben hardcodear en los nodos de función.

4. Diccionario de datos (MySQL)

Tabla: pacientes

Campo	Tipo	Restricción	Descripción
id	INT	PK, AI	Identificador único interno.
nombre	VARCHAR(100)	NOT NULL	Nombre completo del paciente.
documento	VARCHAR(20)	UNIQUE	Cédula de ciudadanía para

validación.

email	VARCHAR(100)	-	Correo para notificaciones de cita.
-------	--------------	---	-------------------------------------

Tabla: medicamentos

Campo	Tipo	Descripción
-------	------	-------------

nombre VARCHAR(100) Nombre comercial del producto.
 nombre_generico VARCHAR(100) Principio activo para búsqueda inteligente.
 stock INT Cantidad física disponible en farmacia.
 requiere_receta BOOLEAN Flag para activar alertas legales.

5. Lógica del Agente de IA (Gemini)

El nodo Gemini no actúa como un chatbot genérico, sino como un analista de datos. El System Prompt fuerza al modelo a ignorar la charla trivial y concentrarse en la estructura JSON:

```
// System Prompt Extracto:
"Extrae los datos en este formato JSON exacto: { paciente: { nombres, documento },
medicamentos: [{ nombre, cantidad }] }".
Si el usuario no da el documento, pon 'NO_ESPECIFICADO'. NO respondas con texto,
SOLO JSON."
```

Configuración Técnica: Temperature: 0.1 (Baja creatividad para máxima precisión en datos médicos).

6. Algoritmos Críticos (Nodos Code)

6.1. Normalización de Documento

Este algoritmo elimina caracteres no numéricos para evitar fallos en la consulta SQL:

```
const docRaw = $json.paciente.documento;
const docLimpio = docRaw.replace(/[^0-9]/g, ""); // Regex para solo números
return { documento: docLimpio };
```

6.2. Búsqueda de Equivalencias

El sistema implementa una búsqueda de "Principio Activo" cuando el nombre comercial no coincide. Si el usuario pide "Aspirina", el código busca en la columna nombre y nombre_generico simultáneamente.

7. Instrucciones de Despliegue y Mantenimiento

Docker Compose: Utilizar el archivo docker-compose.yml para levantar MySQL y n8n en la misma red virtual.

Importación de Workflow: Importar el archivo .json del flujo en la interfaz de n8n.

Logs: Los errores de ejecución se almacenan en la tabla interna execution_entity de n8n para auditoría clínica.

Anexo C

Bienvenido a la documentación de n8n#

Esta es la documentación de n8n , una herramienta de automatización de flujos de trabajo con licencia de código justo que combina capacidades de IA con la automatización de procesos empresariales.

Abarca desde la configuración hasta el uso y el desarrollo. Es un proyecto en constante evolución y se agradecen todas las contribuciones .

n8n (que se pronuncia n-ocho-n) te ayuda a conectar cualquier aplicación con una API con cualquier otra, y a manipular sus datos con poco o ningún código.

Personalizable: flujos de trabajo altamente flexibles y la opción de crear nodos personalizados.

Conveniente: utilice npm o Docker para probar n8n, o la opción de alojamiento en la nube si desea que nosotros nos encarguemos de la infraestructura.

Centrado en la privacidad: n8n autoalojado para mayor privacidad y seguridad.