

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE SOFTWARE

TRABAJO DE TITULACIÓN

INTEGRACIÓN DE UN CHATBOT BASADO EN PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL CON LA PLATAFORMA TELEGRAM PARA AUTOMATIZAR RESERVAS DE TRANSPORTE SEGUN EL MODELO DE NEGOCIO MANPORCAR.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL

PREVIO AL TÍTULO DE

INGENIERO EN SOFTWARE

AUTOR

JUAN JOSÉ ARTEAGA CARRASCO

TUTOR

ING.JOSE LUIS NARANJO VILLOTA, M.ENG.

PORTOVIEJO, JULIO 2026

Certificación del Tutor

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

En la ciudad de Portoviejo a los quince días del mes de julio de dos mil veinte y seis.

JOSE LUIS NARANJO VILLOTA, M.ENG.

CI: 1003528674

Tutor

2026

Acta de aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

En la ciudad de Portoviejo a los diez días del mes de julio de dos mil veinte y seis.

ING. GÓMEZ BRAVO
JOSSELYN TATIANA, MSC
CI: 1315046498
Lector Revisor 1

ING. SONIA SHIRLEY GARCÍA
CAICEDO, MSC
CI: 1310948185
Lector Revisor 2

JOSÉ LUÍS NARANJO VILLOTA, M.ENG.
CI: 1003528674
Tutor

2026

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no vulnera derechos de autor de terceros, Y Ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

En la ciudad de Portoviejo a los diez días del mes de julio de dos mil veinte y seis.

JUAN JOSÉ ARTEAGA CARRASCO

CI: 1315498939

Autor

2026

Declaración de Derecho del Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo. En la ciudad de Portoviejo a los quince días del mes de febrero de dos mil veinte y seis.

JUAN JOSÉ ARTEAGA CARRASCO

CI: 1315498939

Autor

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, por su apoyo constante, su confianza y motivación durante toda mi formación académica. Este logro es también de ustedes.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, confianza y acompañamiento durante todo este proceso académico. Gracias por creer en mí y brindarme el impulso necesario para alcanzar este objetivo.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue desarrollar y evaluar un sistema conversacional basado en procesamiento del lenguaje natural, integrado en Telegram, para automatizar la gestión de reservas de transporte según el modelo de negocio de la empresa Manporcar en la ruta Manta–Portoviejo, como respuesta a demoras, errores de asignación y dificultades de organización del proceso manual. El estudio se desarrolló bajo el enfoque de investigación basada en ciencia del diseño (Design Science Research), con un diseño preexperimental y alcance descriptivo-evaluativo. Se construyó un prototipo funcional mediante la integración de Telegram, n8n, la API de ChatGPT, Supabase y MongoDB. Su evaluación se realizó en un entorno controlado de laboratorio, con datos simulados y una muestra piloto no probabilística de 10 participantes. El desempeño técnico se analizó mediante 200 interacciones automatizadas en el entorno de laboratorio. Durante las pruebas no se registraron errores en la asignación de cupos, equivalente a una tasa de error del 0,00 % en el entorno evaluado. La latencia promedio, medida desde que el webhook del sistema recibe el objeto JSON enviado por Telegram hasta que el flujo de n8n despacha la confirmación final de la reserva, fue de 11,40 segundos y el percentil 95 alcanzó 12,15 segundos, por lo que no se cumplió plenamente el requerimiento no funcional establecido en 10 segundos, debido al tiempo de procesamiento de la API de ChatGPT. La satisfacción general alcanzó un promedio de 3,90 sobre 5,00. Se concluye que el prototipo permite automatizar de manera viable el proceso de reservas y reducir los riesgos asociados con su gestión manual. No obstante, debido al tamaño de la muestra, el uso de datos simulados y la ausencia de un despliegue en producción, los resultados se limitan al entorno evaluado.

Palabras clave: chatbot, procesamiento del lenguaje natural, automatización de procesos, reservas de transporte, Telegram.

Abstract

The objective of this study was to develop and evaluate a natural language processing (NLP)-based conversational system integrated with Telegram to automate transportation reservation management according to the business model of Manporcar for the Manta–Portoviejo route. The system was proposed as a solution to delays, booking assignment errors, and organizational challenges associated with the company's manual reservation process. The study was conducted using the Design Science Research (DSR) methodology, employing a pre-experimental design with a descriptive–evaluative scope. A functional prototype was developed by integrating Telegram, n8n, the ChatGPT API, Supabase, and MongoDB. The prototype was evaluated in a controlled laboratory environment using simulated data and a non-probabilistic pilot sample of 10 participants. Technical performance was assessed through 200 automated interactions conducted under laboratory conditions. During testing, no booking assignment errors were recorded, corresponding to an error rate of 0.00 % within the evaluated environment. The average response latency, measured from the moment the system's webhook received the JSON payload sent by Telegram until the n8n workflow dispatched the final booking confirmation, was 11.40 seconds, while the 95th percentile reached 12.15 seconds. Consequently, the predefined non-functional requirement of a maximum response time of 10 seconds was not fully achieved, primarily due to the processing time of the ChatGPT API. Overall user satisfaction reached an average score of 3.90 out of 5.00. It is concluded that the proposed prototype provides a feasible solution for automating the transportation reservation process and reducing the risks associated with manual reservation management. However, given the limited sample size, the use of simulated data, and the absence of deployment in a production environment, the findings are restricted to the controlled laboratory setting in which the evaluation was conducted.

Keywords: chatbot, natural language processing, process automation, transportation reservations, Telegram

Tabla de Contenido

1. Introducción **1**

Contexto 1

Justificación 3

Planteamiento del problema 4

Objetivos de investigación 6

Preguntas de investigación 7

Alcance 8

2. Método **10**

Tipo y Enfoque de Investigación 10

Tipo de investigación 10

Enfoque de la investigación 10

Diseño y Alcance de la Investigación 11

Diseño de la investigación 11

Alcance de la investigación 12

Metodología de la investigación 13

Fase 1: Identificación del problema y definición de objetivos 13

Fase 2: Diseño y arquitectura de la solución 14

Fase 3: Construcción y desarrollo del prototipo 14
Fase 4: Validación y evaluación técnica 15
Población y muestra 15
Muestra del personal administrativo 16
Muestra de usuarios 16
Técnicas e instrumentos 17
Observación directa 17
Encuesta estructurada 17
Consideraciones éticas 19

3. Procedimiento **20**

Fase 1: Diseño de la solución 20
Selección de tecnologías 20
Establecimiento de requerimientos 24
Requerimientos funcionales 24
Requerimientos no funcionales 25
Diseño de la arquitectura del sistema 26
Seguridad Técnica y Protección de Datos 28
Diseño del flujo de funcionamiento del sistema 29
Diseño de la base de datos 33
Fase 2: Desarrollo del prototipo 37
Módulo de administración 37

Módulo de automatización 39
Fase 3: Validación del sistema 45
Configuración del entorno de pruebas 46
Registro y análisis de datos 46

4. Resultados **49**

Resultados del análisis del proceso de reservas 49
Matriz de Levantamiento de Requerimientos 50
Cuantificación de Deficiencias Operativas 52
Resultados del diseño del flujo automatizado 53
Resultados del desarrollo del prototipo funcional 55
Resultados cuantitativos del desempeño del sistema 56
Resultados comparativos del proceso manual y automatizado 59
Comparación de tiempos de respuesta 59
Análisis de errores en el proceso 63
Resultados de satisfacción del usuario 65
Resultados de usabilidad del chatbot 67

5. Discusión **73**

Impacto en los tiempos de respuesta y evaluación analítica de los RNF 73
Análisis crítico de la reducción de errores y consistencia de datos 75
Nivel de satisfacción y el sesgo de la experiencia digital 76
Implicaciones prácticas y costos operativos del sistema 78

Limitaciones de la Investigación 79

Contraste con estudios previos 80

6. Conclusiones **82**

7. Recomendaciones **84**

Referencias bibliográficas **89**

A. Anexo: Guía de Entrevista **90**

Datos generales 90

Cuestionario 90

B. Anexo: Cuestionario de Diagnóstico Inicial **91**

Ficha Técnica del Instrumento 91

Cuestionario de Diagnóstico 91

C. Anexo: Cuestionario de Usabilidad y Satisfacción Postprueba (SUS-Likert) **93**

Ficha Técnica del Instrumento 93

Cuestionario de Evaluación del Prototipo 93

Validación Metodológica por Juicio de Expertos y Prueba Piloto 94

Validación por Juicio de Expertos 94

Evaluación de Fiabilidad 95

D. Anexo: Consentimiento Informado y Cláusula de Tratamiento de Datos Personales **96**

Formulario de Consentimiento Informado 96

Tratamiento de Datos Personales conforme a Principios de Confidencialidad 98

Lista de Figuras

1. Arquitectura general, flujo de datos y esquema de seguridad técnica del sistema. . . 27
2. Flujo de funcionamiento del sistema automatizado de reservas. 30
3. Modelo entidad-relación de la base de datos Supabase 34
4. Interfaz del módulo de administración (panel de consulta para prototipo). 37
5. Flujo inicial de procesamiento del chatbot en n8n. 39
6. Flujo de validación de reservas y asignación de recursos en n8n. 43
7. Flujo de registro de la reserva y envío de confirmación al usuario en n8n. 44
8. Registro de tiempos de respuesta del chatbot durante las pruebas 57
9. Ejemplo de mensaje de confirmación de reserva generado por el chatbot 60
10. Comparación del proceso manual de reservas mediante WhatsApp 61
11. Nivel de satisfacción de los usuarios respecto a la rapidez de respuesta del chatbot . 67
12. Percepción de los usuarios sobre la demora del primer mensaje del chatbot 68
13. Satisfacción de los usuarios respecto al tiempo total para completar una reserva . . 69
14. Satisfacción de los usuarios con la información sobre el conductor asignado 70
15. Disponibilidad del sistema automatizado fuera del horario laboral 71
16. Nivel de satisfacción general de los usuarios con el sistema 71

Lista de Tablas

1. Comparativa de Plataformas de Mensajería 21

2. Comparativa de Herramientas de Automatización de Flujos 22

3. Comparativa de Tecnologías de Base de Datos 23

4. Matriz de traducción de hallazgos operativos a requerimientos lógicos 51

5. Principales deficiencias del proceso manual de reservas 52

6. Nivel de comodidad del sistema automatizado 53

7. Intención de uso del sistema automatizado 54

8. Nivel de satisfacción del sistema automatizado 54

9. Análisis estadístico descriptivo del tiempo de respuesta y evaluación de RNF . . . 57

10. Resultados descriptivos generales de las variables evaluadas 58

11. Comparación de tiempos de respuesta: campo vs. laboratorio 62

12. Comparación de errores: campo vs. pruebas de borde 64

13. Nivel de satisfacción de los usuarios del sistema automatizado 65

Introducción

La presente investigación aborda el diseño, desarrollo y validación técnica de un sistema conversacional basado en inteligencia artificial orientado a la automatización del proceso de gestión de reservas en un servicio de transporte puerta a puerta. En este capítulo se presenta el contexto y la justificación del estudio, el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, las preguntas de investigación que guían el desarrollo del proyecto y el alcance definido para su ejecución, estableciendo así las bases conceptuales y metodológicas del trabajo.

Contexto

La presente investigación se enmarca en el ámbito de la aplicación de tecnologías basadas en inteligencia artificial, automatización de procesos y sistemas conversacionales, las cuales han adquirido un papel fundamental en la optimización de los procesos de atención al cliente en diversas industrias. Ahumada et al. (2023) destacan que estas tecnologías permiten mejorar la eficiencia operativa y la calidad del servicio mediante la digitalización de procesos. La adopción de estas tecnologías no solo responde a una tendencia de digitalización, sino que implica un cambio estructural en la forma en que las organizaciones gestionan la interacción con sus usuarios, permitiendo procesos más eficientes, escalables y orientados a la mejora continua del servicio.

Los chatbots conversacionales se han consolidado como herramientas eficaces para automatizar interacciones, reducir tiempos de respuesta y mejorar la experiencia del usuario. De acuerdo con Hsu y Lin (2023), estas soluciones permiten a las empresas ofrecer servicios más eficientes y escalables, optimizando la comunicación con los clientes en entornos digitales.

En el sector transportista, especialmente en servicios de movilidad compartida, la incorporación de soluciones digitales representa una oportunidad significativa para mejorar la gestión operativa y la calidad del servicio ofrecido.

En Manporcar se identificó que su modelo de negocio se basa en ofrecer un servicio de transporte compartido puerta a puerta entre las ciudades de Manta y Portoviejo, atendiendo una demanda creciente de usuarios que requieren movilidad rápida, confiable y accesible. Este tipo de servicios, según Vasilenko et al. (2021), responde a modelos de movilidad compartida orientados a optimizar la eficiencia del transporte y mejorar la experiencia del usuario.

No obstante, el proceso de gestión de reservas en este tipo de servicios continúa realizándose de manera manual, mediante llamadas telefónicas y mensajes de WhatsApp, lo cual genera limitaciones en la organización de la información, retrasos en la atención y dificultades en la trazabilidad de las solicitudes de los usuarios. Mahlamäki y Nieminen (2020) señalan que los procesos manuales en la gestión de servicios tienden a presentar problemas de desorganización de la información y baja eficiencia operativa.

Con la integración de sistemas conversacionales basados en inteligencia artificial surge como una alternativa tecnológica viable para modernizar dichos procesos y adaptarlos a las necesidades actuales del entorno digital. De acuerdo con Melnyk et al. (2024), los sistemas conversacionales permiten automatizar la interacción con los usuarios, optimizando los tiempos de respuesta y mejorando la gestión de la información en entornos digitales.

El uso de la inteligencia artificial está transformando la comunicación digital, sobre todo mediante chatbots basados en inteligencia artificial que emplean herramientas de automatización como n8n para conectar sistemas. A pesar de este auge, tras una revisión minuciosa de estudios y tesis nacionales, no se hallaron registros de implementaciones específicas que unan Telegram y la API de ChatGPT para gestionar reservas en el transporte intercantonal puerta a puerta en Ecuador. Cabe indicar que existe una brecha tecnológica en el transporte compartido local, un sector que sigue atado a la gestión manual. De ahí nace la necesidad de desarrollar tecnologías

adaptadas a nuestra realidad, capaces de agilizar la operatividad de las empresas y simplificar la vida de los usuarios.

Justificación

La presente investigación se justifica en la necesidad de optimizar el proceso de gestión de reservas en servicios de transporte compartido mediante la incorporación de tecnologías basadas en inteligencia artificial y automatización de procesos. Hsu y Lin (2023) y Segura Torres et al. (2024) evidencian que la implementación de sistemas conversacionales inteligentes contribuye significativamente a mejorar la eficiencia operativa, reducir errores y aumentar la satisfacción del usuario en entornos digitales.

La integración de un chabot en una plataforma de mensajería instantánea se plantea como una solución tecnológica orientada a automatizar la interacción con los usuarios. Según Nguyen et al. (2022), este tipo de soluciones permite gestionar solicitudes de manera más rápida, estructurada y eficiente, optimizando los procesos de atención al cliente. Asimismo, Mziray y Mshana (2023) destacan que la integración de herramientas de automatización junto con bases de datos facilita la organización, almacenamiento y recuperación de la información, mejorando su disponibilidad para la toma de decisiones. Bajo estas premisas, la presente investigación se justifica en tres dimensiones fundamentales:

Justificación práctica y organizacional: El desarrollo del sistema propuesto permite resolver ineficiencias operativas presentes en los procesos manuales de reservas de la empresa Manporcar, la cual gestiona un volumen aproximado de 80 reservas diarias. Actualmente, la atención manual mediante llamadas y WhatsApp genera un tiempo promedio de espera de 5 a 10 minutos por usuario, llegando a picos de saturación en horarios críticos como [los lunes por la mañana y viernes por la tarde]. Esta modalidad manual provoca una tasa de error del 12 % en la asignación de cupos (duplicidad de asientos o pérdidas de registro) y absorbe hasta 6 horas diarias de la carga operativa del personal administrativo. En este sentido, Setayesh et al. (2022) señalan que

los procesos manuales en la gestión de servicios incrementan la probabilidad de errores y afectan la eficiencia operativa. La automatización del proceso contribuye a mitigar estos fallos, mejorar la trazabilidad de la información, reducir drásticamente la carga operativa del personal y optimizar la gestión del servicio, impactando directamente en la productividad organizacional.

Justificación social: El proyecto impacta directamente en los usuarios del servicio de transporte, quienes podrán realizar reservas de manera rápida y sencilla a través de un canal automatizado. De acuerdo con Wahbi et al. (2023), la incorporación de sistemas automatizados mejora la experiencia del usuario al reducir tiempos de espera y facilitar el acceso a los servicios. En este contexto, la solución propuesta no solo mejora la calidad del servicio, sino que también fomenta la adopción de tecnologías digitales en el sector transporte, contribuyendo a su transformación digital.

Justificación tecnológica: Esta investigación contribuye a la aplicación de tecnologías modernas en entornos empresariales locales, mediante la integración de inteligencia artificial, automatización de flujos y plataformas de mensajería instantánea. Desde una perspectiva tecnológica, el sistema desarrollado demuestra la viabilidad de implementar soluciones conversacionales basadas en procesamiento del lenguaje natural en entornos reales, constituyéndose como un caso de estudio replicable para otras organizaciones que buscan modernizar sus procesos mediante soluciones digitales. Asimismo, aporta evidencia sobre la integración de múltiples tecnologías en una arquitectura funcional, escalable y adaptable a distintos contextos organizacionales.

Planteamiento del problema

En la actualidad, las empresas de servicios buscan incorporar tecnologías digitales que permitan optimizar sus procesos operativos y mejorar la atención al cliente. Hernandez y Cruz (2022) señalan que la transformación digital constituye un factor clave para incrementar la eficiencia y competitividad en entornos organizacionales.

Las soluciones basadas en inteligencia artificial, automatización de procesos y sistemas conversacionales han adquirido un papel relevante en diferentes sectores. De acuerdo con Nampalli (2023), estas tecnologías permiten gestionar interacciones con usuarios de forma rápida, continua y eficiente, mientras que Monsuur et al. (2021) destacan su capacidad para mejorar la calidad del servicio mediante la automatización de procesos de atención.

En particular, los chatbots se han consolidado como herramientas ampliamente utilizadas para automatizar solicitudes, reducir tiempos de respuesta y mejorar la experiencia del usuario en servicios digitales. Según RAFI et al. (2022), estos sistemas permiten optimizar la comunicación con los clientes, ofreciendo respuestas inmediatas y estructuradas. En el ámbito del transporte compartido puerta a puerta entre las ciudades de Manta y Portoviejo, en la provincia de Manabí, la adopción de este tipo de tecnologías representa una oportunidad significativa para optimizar los procesos de atención y gestión de reservas.

Sin embargo, en el modelo de negocio del servicio de transporte ofrecido por la empresa Manporcar, el proceso de gestión de reservas continúa realizándose de manera manual mediante llamadas telefónicas y mensajes de WhatsApp. Tal como señala Nampalli (2023), la dependencia de procesos manuales limita la eficiencia operativa y dificulta la organización de la información. Este procedimiento genera un flujo de datos poco estructurado, lo que, según Maxima et al. (2025), afecta la correcta gestión de la información y dificulta el registro organizado de las solicitudes, provocando demoras en la confirmación de reservas, como también lo evidencian Andriani et al. (2025).

El problema se manifiesta principalmente en la dependencia de procesos manuales para la gestión de reservas. Kitsantas et al. (2024) indican que la falta de automatización incrementa la probabilidad de errores operativos. Esto puede ocasionar errores en la asignación de cupos, tal como lo mencionan Yusof et al. (2024), retrasos en las respuestas a los usuarios y una mayor carga operativa para el personal administrativo, aspecto también señalado por Kudelska y Niedbał (2020). Entre las causas identificadas se encuentran la ausencia de un sistema automatizado para

registrar las solicitudes, la falta de integración entre herramientas tecnológicas y la inexistencia de una plataforma que permita gestionar las reservas de manera estructurada y centralizada.

Si esta situación no se soluciona, el servicio continuará operando bajo un esquema manual susceptible a errores, demoras en la atención y saturación del personal encargado de gestionar las reservas. Esto podría generar un aumento en la insatisfacción de los usuarios, como advierten Monsuur et al. (2021), afectar la calidad del servicio ofrecido y limitar la capacidad de crecimiento del negocio frente a otras soluciones tecnológicas que ya incorporan procesos automatizados, tal como señalan Joel et al. (2024).

Por lo tanto, abordar esta problemática resulta fundamental, ya que permitiría optimizar la gestión de reservas (Barua & Kaiser, 2025), reducir los errores derivados del manejo manual de la información, tal como señala Önden (2026), y mejorar los tiempos de atención a los usuarios (Ganesh et al., 2024). Asimismo, la implementación de un sistema conversacional basado en inteligencia artificial contribuiría a la modernización de los procesos operativos de la empresa, promoviendo la transformación digital en el sector transporte, como lo destacan Keskar y Malaga (2023), y mejorando la experiencia de los usuarios del servicio puerta a puerta. Este enfoque evidencia que la incorporación de sistemas conversacionales no solo optimiza procesos operativos, sino que también transforma la relación entre usuario y servicio, permitiendo modelos de atención más dinámicos y centrados en el usuario.

Objetivos de investigación

Esta investigación tiene como objetivo general y especificos los que se muestran a continuación:

Objetivo General

Desarrollar un sistema conversacional basado en inteligencia artificial, integrando un chatbot en la plataforma Telegram y con herramientas de automatización para el proceso de gestión de reservas de transporte según el modelo de negocio de la empresa Manporcar.

Objetivos Específicos

- Analizar el proceso actual de gestión de reservas de la empresa Manporcar y los requerimientos técnicos para la implementación de un chatbot conversacional basado en inteligencia artificial.
- Diseñar la arquitectura lógica y física del sistema, detallando la integración entre el chatbot en Telegram, los flujos de automatización en n8n y el almacenamiento de datos híbrido en Supabase y MongoDB.
- Implementar los módulos del sistema conversacional para el control automatizado de usuarios, conductores, horarios y reservas utilizando n8n como motor de integración central.
- Evaluar el desempeño técnico y operativo del sistema mediante la medición de tiempos de respuesta, tasa de errores y el nivel de satisfacción de los usuarios finales.

Preguntas de investigación

Las siguientes preguntas de investigación guían el desarrollo del estudio y permiten estructurar el análisis y la solución propuesta.

Pregunta Principal

¿En qué medida la implementación e integración de un chatbot basado en inteligencia artificial en una plataforma de mensajería permite automatizar eficientemente la gestión de reservas de transporte?

Preguntas Específicas

- ¿Cuáles son las principales deficiencias del proceso manual de gestión de reservas de transporte en el modelo de negocio de la empresa Manporcar?

- ¿Qué tipo de tecnologías podrían utilizarse para el desarrollo de un chatbot basado en inteligencia artificial orientado a la automatización de reservas de transporte?
- ¿Cómo incide la arquitectura del flujo automatizado en el tiempo de respuesta y confiabilidad del proceso de reservas?
- ¿En qué medida el sistema implementado permite ejecutar correctamente el registro y gestión de reservas de transporte?
- ¿En qué medida la implementación del chatbot mejora el desempeño del proceso de reservas en términos de tiempo de respuesta, reducción de errores y nivel de satisfacción del usuario?

Alcance

El alcance de la presente investigación se circunscribe al diseño, desarrollo y validación de un prototipo funcional de sistema conversacional basado en inteligencia artificial para la automatización del proceso de reservas de un servicio de transporte puerta a puerta, tomando como referencia el modelo de negocio de la empresa Manporcar.

El sistema desarrollado incluye:

- La integración de un chatbot con la plataforma Telegram para la interacción con los usuarios.
- La automatización del flujo de reservas mediante la herramienta n8n.
- El registro estructurado de usuarios, conductores, horarios y reservas en una base de datos relacional en Supabase.
- El almacenamiento del historial de conversaciones en una base de datos NoSQL MongoDB.

- El envío automático de confirmaciones al usuario una vez que la reserva es registrada correctamente en la base de datos.
- Una interfaz web administrativa desarrollada en Next.js para la visualización de reservas y conductores.
- La validación técnica del prototipo en un entorno controlado con datos ficticios.

El sistema desarrollado no incluye:

- Integración con sistemas de pago en línea.
- Geolocalización en tiempo real de conductores.
- Algoritmos avanzados de optimización para la asignación automática de conductores.
- Implementación en un entorno productivo real.
- Integración con sistemas empresariales externos.
- Mecanismos de aprendizaje automático autónomo o entrenamiento propio de modelos de inteligencia artificial.

Los resultados corresponden a prototipo funcional y no a operación comercial real.

Método

Tipo y Enfoque de Investigación

Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como de tipo aplicada. Su propósito central no se limita a la generación de teorías abstractas, sino que se orienta a resolver una problemática operativa real mediante el diseño, desarrollo e implementación de una solución tecnológica funcional en la empresa Manporcar. En este sentido, Hernandez y Cruz (2022) señalan que la investigación aplicada se enfoca en la atención de problemas específicos en contextos reales, utilizando el conocimiento científico para estructurar soluciones prácticas que optimicen procesos existentes.

Enfoque de la investigación

El estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo). La naturaleza del proyecto exige una perspectiva integral que combine:

- El componente cualitativo: Aplicado en las fases iniciales para comprender el modelo de negocio, analizar de forma interpretativa los flujos de procesos actuales y recopilar los requerimientos de los usuarios mediante entrevistas.
- El componente cuantitativo: Empleado en la fase de evaluación para medir de forma estadística y matemática el rendimiento técnico del sistema a través de métricas objetivas (tiempos de respuesta y tasa de errores) y la escala de satisfacción del usuario.

Diseño y Alcance de la Investigación

Diseño de la investigación

La presente investigación se fundamenta en el paradigma de la Investigación Basada en Diseño de la Ciencia (*Design Science Research*, DSR), un enfoque estructurado y orientado a la creación, implementación y evaluación de un artefacto tecnológico innovador para resolver una problemática práctica identificada en un contexto organizacional real. Este paradigma es especialmente pertinente para el campo de la ingeniería de software, ya que valida el conocimiento científico a través de la construcción de soluciones operativas (el chatbot conversacional y los flujos de n8n).

De acuerdo con los ciclos metodológicos del DSR, la validación del artefacto se ha delimitado específicamente a un **entorno controlado de simulación** (ambiente de pruebas o *staging*), utilizando conjuntos de datos ficticios pero estructurados con base en el modelo de negocio real de la empresa Manporcar.

La decisión de no realizar la validación directamente en el entorno de producción en vivo de la empresa se justifica bajo los siguientes criterios técnicos y metodológicos:

- **Seguridad e Integridad de Datos:** Al tratarse de un sistema automatizado que interactúa directamente con repositorios de almacenamiento (Supabase y MongoDB), ejecutar pruebas iniciales en producción pondría en riesgo la consistencia de los registros reales de transporte, clientes y conductores activos de la empresa.
- **Aislamiento de Variables:** El entorno controlado permite manipular de forma precisa variables críticas como la concurrencia de solicitudes (simulación de carga de usuarios concurrentes) y la inyección de errores provocados, algo inviable de realizar en una operación comercial en vivo sin afectar la experiencia del cliente real.
- **Mitigación de Riesgos Operativos:** El chatbot basado en inteligencia artificial requiere

una fase de calibración para evitar respuestas inesperadas. El ambiente controlado actúa como un *sandbox* seguro donde se evalúa la tasa de errores sin generar fricciones en el servicio habitual de Manporcar.

Por lo tanto, aunque el artefacto ha sido diseñado a partir de un diagnóstico y requerimientos reales de la organización, su evaluación técnica y operativa se ejecuta bajo un modelo preexperimental controlado, garantizando el rigor métrico antes de un futuro despliegue.

Alcance de la investigación

El alcance de este estudio se define como **descriptivo-evaluativo**, una combinación que responde directamente a la necesidad de detallar la solución tecnológica y posteriormente juzgar su eficiencia en el entorno controlado:

- **Alcance Descriptivo:** Se centra en caracterizar minuciosamente el estado actual del proceso de gestión de reservas de Manporcar, especificar los requerimientos del sistema y detallar la arquitectura tecnológica propuesta. Esto incluye el diseño de los flujos de trabajo en n8n, la configuración de los canales en Telegram y el modelado de datos híbrido en Supabase y MongoDB.
- **Alcance Evaluativo:** Se enfoca en valorar de manera crítica el rendimiento y la calidad del artefacto desarrollado una vez implementado. Mediante los tres ciclos de pruebas planificados en el ambiente controlado, este alcance permite contrastar los resultados obtenidos frente a los indicadores de aceptación preestablecidos (tiempo de respuesta menor a 2.5 segundos y tasa de errores inferior al 2 %), determinando con precisión la viabilidad técnica del sistema.

Metodología de la investigación

La metodología de la investigación se estructuró conforme al DSR, el cual establece un proceso iterativo orientado a la construcción y evaluación de artefactos tecnológicos. Este enfoque se centra en el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras y su validación en contextos reales, lo que lo hace especialmente pertinente para investigaciones en el ámbito de la ingeniería de software.

La adopción del enfoque DSR permitió establecer una relación directa entre la metodología aplicada y los objetivos planteados en la investigación, ya que su estructura por fases facilitó el desarrollo progresivo de la solución propuesta. Cada fase fue diseñada para dar cumplimiento a los objetivos específicos, iniciando con la identificación del problema y el análisis del proceso actual, seguido del diseño de la arquitectura del sistema, la implementación del prototipo y, finalmente, la validación técnica del chatbot conversacional. De esta manera, la metodología no solo orientó el desarrollo del sistema, sino que también garantizó una evaluación integral de su efectividad en la automatización del proceso de reservas.

Fase 1: Identificación del problema y definición de objetivos

Se realizó un diagnóstico del proceso manual de reservas con el fin de identificar ineficiencias y limitaciones operativas. El diagnóstico se fundamentó en observaciones directas del proceso manual, así como en entrevistas informales realizadas a usuarios frecuentes del servicio de transporte puerta a puerta.

El investigador forma parte del grupo de usuarios activos del servicio, lo que permitió contar con una experiencia directa en el uso del sistema manual de reservas y facilitar la identificación de dificultades recurrentes, tales como tiempos de respuesta prolongados, errores en la asignación de horarios y saturación del canal de atención. Este análisis exploratorio permitió delimitar el problema de investigación y establecer los objetivos orientados a la automatización del proceso mediante un chatbot conversacional.

Fase 2: Diseño y arquitectura de la solución

Se diseñó una arquitectura del sistema basada en la integración de un chatbot con la API de Telegram, utilizando la plataforma de automatización n8n como núcleo de orquestación de los flujos conversacionales. Esta arquitectura fue definida considerando criterios de escalabilidad, interoperabilidad y eficiencia en el procesamiento de las solicitudes.

La solución incorporó una base de datos relacional en Supabase para la gestión estructurada de la información correspondiente a usuarios, conductores y reservas, garantizando la integridad y consistencia de los datos. Asimismo, se implementó una base de datos NoSQL en MongoDB para el almacenamiento del historial de conversaciones, permitiendo conservar el contexto de las interacciones y mejorar la capacidad de respuesta del sistema. Adicionalmente, se diseñó una interfaz web desarrollada en Next.js, orientada a la visualización y administración de la información registrada en el sistema, facilitando el control operativo por parte del personal administrativo.

Fase 3: Construcción y desarrollo del prototipo

La fase de construcción consistió en la implementación técnica del sistema propuesto, integrando los distintos componentes definidos en la arquitectura. Se desarrolló el chatbot utilizando la plataforma n8n para la orquestación de los flujos conversacionales, permitiendo gestionar de manera automatizada las interacciones con los usuarios. Para la comunicación con los usuarios, se integró la API de Telegram Bot, mientras que para el procesamiento del lenguaje natural se utilizaron servicios de inteligencia artificial a través de la API de ChatGPT.

En cuanto a la gestión de datos, se configuró Supabase como base de datos principal para el almacenamiento estructurado de la información del sistema, y MongoDB como repositorio del historial conversacional, permitiendo mantener el contexto de las interacciones y mejorar la experiencia del usuario mediante respuestas más coherentes y contextualizadas. Esta fase permitió materializar el prototipo funcional del sistema, integrando componentes de mensajería,

automatización, inteligencia artificial y bases de datos en una solución operativa.

Fase 4: Validación y evaluación técnica

La validación del sistema se llevó a cabo mediante un diseño experimental basado en pruebas controladas con usuarios seleccionados, simulando escenarios reales de solicitud de reservas. Durante esta fase, se evaluaron aspectos funcionales del sistema, tales como la correcta gestión de las reservas, la precisión en la asignación de cupos y la interacción del usuario con el chatbot. Asimismo, se analizaron métricas objetivas como el tiempo de respuesta del sistema y la tasa de interacciones exitosas.

Se aplicaron encuestas estructuradas con escala Likert a los usuarios participantes, con el propósito de medir el nivel de satisfacción y la percepción del servicio automatizado. Los resultados obtenidos permitieron determinar el nivel de aceptación del sistema y validar su efectividad en la optimización del proceso de reservas en un entorno controlado.

Población y muestra

La población del estudio se delimitó a partir de los registros operativos y de talento humano de la empresa Manporcar correspondientes al periodo de enero a marzo de 2026. Con base en esta fuente documental, la población estuvo conformada por un total de 5 personas del área administrativa encargadas de la gestión manual de reservas y un promedio de 50 usuarios frecuentes identificados en el sistema de atención por WhatsApp durante el periodo observado.

Para la selección de los participantes, se aplicaron criterios de inclusión (personal activo en atención al cliente y usuarios con al menos tres viajes realizados en el último mes) y de exclusión (personal de mantenimiento o conductores, y usuarios esporádicos con registros incompletos).

Muestra del personal administrativo

La muestra se conformó por 2 personas del área administrativa, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional debido a su conocimiento directo del proceso y su participación activa en la gestión diaria de las reservas. Este tipo de muestreo resulta pertinente en estudios de ingeniería bajo el enfoque Design Science Research, donde se requiere información especializada proveniente de actores clave involucrados en el proceso analizado, permitiendo obtener datos relevantes para la definición de requerimientos y validación del sistema en su etapa inicial.

Muestra de usuarios

La muestra estuvo conformada por 10 usuarios del servicio de transporte puerta a puerta, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando su disponibilidad de participación y su experiencia previa con el canal de atención manual.

Debido a la naturaleza de la investigación, este trabajo se aborda desde un enfoque aplicado y de carácter exploratorio, siendo un tamaño de muestra válido y suficiente para la evaluación técnica de usabilidad, estabilidad e interacción del prototipo en un entorno controlado (evaluando 3 escenarios operativos mediante 30 pruebas individuales). Sin embargo, se reconoce que esta delimitación cuantitativa constituye una limitación metodológica para realizar inferencias estadísticas generalizables a gran escala. Por lo tanto, el alcance de la inferencia se restringe estrictamente al contexto operativo y local de la empresa Manporcar durante su fase de validación técnica, sirviendo como un caso de estudio inicial.

Con base en esta limitación, se recomienda para estudios futuros incrementar significativamente el tamaño de la muestra e implementar un muestreo de tipo probabilístico, lo que permitirá evaluar el comportamiento del chatbot ante un flujo masivo de interacciones simultáneas y dotar a los resultados de validez estadística generalizable. A los usuarios seleccionados se les aplicó una encuesta estructurada de manera directa para recopilar información sobre su experiencia y las

principales dificultades percibidas en el proceso..

Técnicas e instrumentos

Se emplearon técnicas e instrumentos diferenciados según la fase de la investigación, con el propósito de recolectar información relevante tanto para el diagnóstico del problema como para la validación del sistema desarrollado.

Observación directa

Se utilizó la técnica de observación directa para analizar el proceso manual de gestión de reservas, con el fin de identificar ineficiencias operativas, tiempos de respuesta y requerimientos funcionales del sistema. Esta técnica permitió comprender el flujo real de trabajo y detectar las principales limitaciones del modelo tradicional.

Encuesta estructurada

Para la recolección de información cuantitativa y perceptiva, se aplicaron dos encuestas en diferentes momentos cronológicos del desarrollo de la investigación, permitiendo analizar la situación inicial del proceso de reservas (diagnóstico) y, posteriormente, evaluar el desempeño del sistema automatizado implementado (postprueba).

Fase Inicial: Encuesta de Diagnóstico Situacional En la primera fase, se aplicó una encuesta estructurada de manera directa mediante interacción presencial a un grupo de 10 usuarios frecuentes del servicio de transporte puerta a puerta de la empresa Manporcar, seleccionados bajo un muestreo no probabilístico por conveniencia debido a su uso constante del sistema. El objetivo primordial de este instrumento fue identificar el nivel de insatisfacción y registrar las principales dificultades del proceso manual, tales como demoras en la respuesta, falta de información y disponibilidad limitada del servicio.

Validación del Instrumento Inicial: Para garantizar la rigurosidad metodológica, este instrumento inicial fue sometido a una validación por juicio de expertos, contando con la revisión de tres profesionales del área de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y Metodología, quienes evaluaron los criterios de claridad, pertinencia y relevancia de los ítems antes de su aplicación, obteniendo un índice de validez de contenido aceptable.

Fase Final: Encuesta de Evaluación del Prototipo En la segunda fase, una vez desarrollado el sistema conversacional e implementado en el entorno controlado, se aplicó una encuesta estructurada mediante la herramienta Google Forms a los mismos 10 usuarios participantes. Esta segunda encuesta fue diseñada utilizando una escala Likert de cinco puntos para medir de manera cuantificable la percepción sobre aspectos críticos del software:

- 1: Muy insatisfecho
- 2: Insatisfecho
- 3: Neutral
- 4: Satisfecho
- 5: Muy satisfecho

Las preguntas estuvieron orientadas a evaluar aspectos clave del servicio automatizado, tales como la rapidez en la respuesta inicial, el tiempo de demora del primer mensaje, el tiempo total para completar la reserva, la entrega de la información del conductor asignado, la disponibilidad del sistema fuera del horario laboral y la satisfacción general del servicio.

Justificación de Confiabilidad (Observación del Alfa de Cronbach): Respecto a la medición de la confiabilidad, debido a que el alcance de la investigación es de carácter descriptivo-evaluativo sobre un artefacto tecnológico (DSR) y se aplica a una muestra controlada de 10 usuarios piloto, el estudio prescinde del cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach. Metodológicamente, el cálculo de dicho alfa se reserva para constructos psicométricos complejos aplicados a muestras de gran

escala, donde se busca generalizar una conducta. En su lugar, al tratarse de una evaluación descriptiva de usabilidad y rendimiento de un prototipo de software, la confiabilidad se sustenta en la adopción de dimensiones estandarizadas basadas en la escala clásica SUS (System Usability Scale) y en la consistencia de las respuestas obtenidas durante los 3 ciclos de pruebas controladas.

Consideraciones éticas

La investigación se desarrolló respetando principios éticos fundamentales, garantizando el anonimato de los participantes y el uso responsable de la información recopilada. Los datos fueron obtenidos mediante la aplicación de encuestas a los participantes, asegurando en todo momento su consentimiento informado y confidencialidad. Asimismo, la información recolectada fue utilizada exclusivamente con fines académicos, específicamente para el desarrollo de la presente investigación, evitando cualquier uso indebido o ajeno a los objetivos del estudio. De esta manera, se garantiza el cumplimiento de criterios de integridad, responsabilidad y ética profesional durante todo el proceso investigativo.

Procedimiento

El procedimiento de la investigación se desarrolló en fases secuenciales, alineadas con el enfoque de Investigación Basada en Diseño (Design Science Research, DSR), orientadas al diseño, desarrollo y validación del sistema conversacional propuesto para la automatización del proceso de reservas.

Fase 1: Diseño de la solución

La fase de diseño tuvo como objetivo definir la estructura conceptual y técnica del sistema, estableciendo las bases necesarias para su posterior implementación.

Selección de tecnologías

En esta etapa se realizó un análisis comparativo de distintas herramientas tecnológicas, considerando criterios como escalabilidad, facilidad de integración, disponibilidad de documentación, costos y compatibilidad con sistemas de mensajería. Como resultado de este análisis, se seleccionaron las siguientes tecnologías: Telegram como plataforma de interacción con el usuario, n8n como herramienta de automatización de flujos, Supabase como base de datos relacional para la gestión estructurada de información, MongoDB como base de datos NoSQL para el almacenamiento del historial conversacional, Next.js para la interfaz web administrativa y la API de ChatGPT para el procesamiento del lenguaje natural. Se evaluaron las dos plataformas de mensajería instantánea con mayor penetración en el mercado para el despliegue del bot conversacional.

Tabla 1. Comparativa de Plataformas de Mensajería

Criterio	Telegram Bot API	WhatsApp Business API	Selección
Costos	100 % Gratuito, sin límites de mensajes.	Costo por sesión de 24 horas e inicio de conversación.	**Telegram**
Facilidad de uso	Creación inmediata vía BotFather sin verificaciones complejas.	Requiere cuenta comercial verificada en Meta Business Suite.	**Telegram**
Flexibilidad	Soporta componentes interactivos avanzados nativos.	Restricciones estrictas en plantillas de mensajes.	**Telegram**

Se seleccionó Telegram debido a que su API es completamente gratuita y carece de restricciones de volumen de mensajes, lo cual es ideal para una fase de prototipado preexperimental. A diferencia de WhatsApp Business API, Telegram no requiere de un proceso complejo de verificación de identidad jurídica ni de pasarelas de pago para mantener el canal activo.

Motor de Orquestación y Automatización (Backend)

Para el desarrollo de la lógica conversacional y la integración de las APIs, se compararon herramientas de automatización de flujos de trabajo de tipo *low-code*.

Tabla 2. Comparativa de Herramientas de Automatización de Flujos

Criterio	n8n	Make (Integromat)	Zapier
Despliegue	Autoalojado (Self-hosted) vía Docker en VPS propio.	Exclusivo en la nube (SaaS).	Exclusivo en la nube (SaaS).
Costos	Ilimitado bajo infraestructura propia (Open-fair).	Planes basados en número de operaciones mensuales.	Altamente costoso al incrementar tareas.
Privacidad	Datos controlados localmente en el servidor.	Datos transitan por servidores de terceros.	Datos transitan por servidores de terceros.

Se seleccionó n8n por su naturaleza autoalojada (*self-hosted*), lo que permite ejecutar flujos e interacciones ilimitadas en un servidor propio (VPS) mediante Docker, reduciendo los costos operativos a cero. Zapier y Make limitan estrictamente las ejecuciones mensuales en sus planes gratuitos, volviéndose económicamente inviables para flujos de conversación concurrentes.

Capa de Almacenamiento y Persistencia de Datos

El sistema requiere una arquitectura de almacenamiento híbrida: un enfoque relacional para la gestión operativa del negocio (usuarios, conductores, horarios) y un enfoque NoSQL para el historial no estructurado de los chats.

Tabla 3. Comparativa de Tecnologías de Base de Datos

Criterio	Supabase / PostgreSQL	MongoDB	Firebase (Firestore)
Modelo	Relacional (SQL) con soporte JSON.	NoSQL Orientado a Documentos (BSON).	NoSQL Orientado a Documentos (JSON).
Integridad	Alta integridad referencial (claves foráneas/restricciones).	Esquema flexible, ideal para logs variables.	Esquema flexible pero con dependencia de proveedor (*Lock-in*).
Propósito	Control transaccional de reservas y conductores.	Persistencia cronológica del contexto del chat.	No aplica por su modelo cerrado de consultas complejas.

- **Supabase (PostgreSQL):** Se prefirió sobre Firebase para el núcleo del negocio debido a la rigidez transaccional y relacional que requiere el control de cupos de transporte, conductores y horarios, evitando colisiones de datos y reservas duplicadas.
- **MongoDB:** Se seleccionó para cohabitar con el sistema debido a su estructura NoSQL basada en documentos flexibles. A diferencia de las tablas SQL, MongoDB permite almacenar el historial de interacciones cronológicas de la Inteligencia Artificial de forma masiva, rápida y sin un esquema rígido predefinido.

La arquitectura se complementa con la **API de ChatGPT** para el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y el entendimiento de intenciones del usuario, y **Next.js** como el entorno de

desarrollo *frontend* para la construcción de la interfaz web administrativa, garantizando un panel de control rápido, modular y altamente eficiente.

Establecimiento de requerimientos

A partir del análisis del proceso manual de reservas y de la información recopilada mediante observación directa, se definieron los requerimientos del sistema, los cuales fueron clasificados en funcionales y no funcionales. Estos requerimientos fueron formulados de manera medible y verificable, con el fin de evaluar su cumplimiento durante la fase de validación del sistema.

Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales describen las acciones específicas y capacidades operativas que el sistema debe ejecutar dentro del proceso de gestión automatizada de reservas, estableciendo condiciones verificables de cumplimiento durante los escenarios de prueba evaluados.

- **Gestión de interacción conversacional:** El sistema debe canalizar y procesar las interacciones de los usuarios mediante la interfaz del chatbot integrado en la plataforma Telegram, guiando al usuario de forma secuencial a través del flujo conversacional diseñado.
- **Registro y validación de datos:** El sistema debe capturar, validar sintácticamente y almacenar la información proporcionada por el usuario (identificación, fecha, ruta y cupos) en los repositorios de datos persistentes, impidiendo el registro de campos vacíos o formatos inválidos.
- **Verificación automatizada de disponibilidad:** El sistema debe consultar en tiempo real las bases de datos para contrastar la disponibilidad de asientos libres en las unidades de transporte en función de la fecha, la ruta (Manta - Portoviejo) y el horario solicitados por el usuario.

- **Asignación dinámica de recursos:** El sistema debe asociar de manera automática la reserva confirmada con un horario establecido y un conductor disponible en la base de datos relacional, actualizando el estado del cupo de forma inmediata para evitar sobreventas.
- **Notificación y confirmación de reserva:** El sistema debe generar y enviar un mensaje estructurado de confirmación al usuario a través del chat de Telegram una vez que la transacción haya sido registrada con éxito, detallando los datos del viaje y el conductor asignado.

Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales establecen las características de calidad que debe cumplir el sistema. En esta investigación, dichos requerimientos fueron definidos de manera medible y verificable, con el fin de evaluar su cumplimiento durante la fase de validación del sistema.

- **Disponibilidad del sistema:** El sistema debe mantener una disponibilidad mínima del 95 % durante el periodo de pruebas, garantizando el acceso continuo al servicio de reservas mediante la plataforma Telegram.
- **Tiempo de respuesta:** El sistema debe responder a las solicitudes del usuario en un tiempo máximo de 10 segundos en al menos el 95 % de las interacciones registradas.
- **Seguridad y confidencialidad:** El sistema debe garantizar la seguridad y confidencialidad de los datos mediante el uso de conexiones seguras (HTTPS) y mecanismos de control de acceso, evitando accesos no autorizados durante el 99 % de las pruebas realizadas.
- **Usabilidad del sistema:** El sistema debe permitir que los usuarios completen una reserva en un máximo de 3 interacciones dentro del chatbot en al menos el 90 % de los casos evaluados.

- **Escalabilidad:** El sistema debe mantener un funcionamiento estable durante la ejecución de al menos 20 pruebas consecutivas de reserva, sin presentar fallos en el registro de datos ni interrupciones del servicio.
- **Compatibilidad:** El sistema debe ser accesible y funcional en dispositivos móviles con sistemas operativos Android e iOS mediante la aplicación Telegram, sin presentar errores críticos durante su uso en el 99 % de los casos evaluados.

Diseño de la arquitectura del sistema

Con base en los requerimientos definidos, se diseñó la arquitectura general del sistema automatizado de reservas, estableciendo la interacción entre los distintos componentes tecnológicos que conforman la solución propuesta. Este diseño se realizó considerando criterios de escalabilidad, modularidad, interoperabilidad y, de manera prioritaria, la seguridad y protección de la información en cada capa del sistema.

Como se observa en la Figura 1, la arquitectura describe la interacción y los mecanismos de protección entre los componentes tecnológicos. El sistema se basa en un modelo distribuido donde la comunicación externa e interna está blindada mediante protocolos de cifrado, gestión estricta de credenciales y control de acceso basado en roles.

De forma específica, la arquitectura se compone de los siguientes elementos técnicos:

- **Usuario e Interfaz de Comunicación:** Representa el punto de entrada. Los usuarios interactúan desde dispositivos móviles o computadoras a través de la **API de Telegram** (Telegram Bot API), la cual actúa como la interfaz de mensajería en tiempo real.
- **Capa de Seguridad y Gestión de Acceso:** Componente transversal que centraliza la lógica de protección perimetral, la gestión de certificados de cifrado y la validación de identidades antes de permitir el tránsito de peticiones hacia el núcleo del sistema.

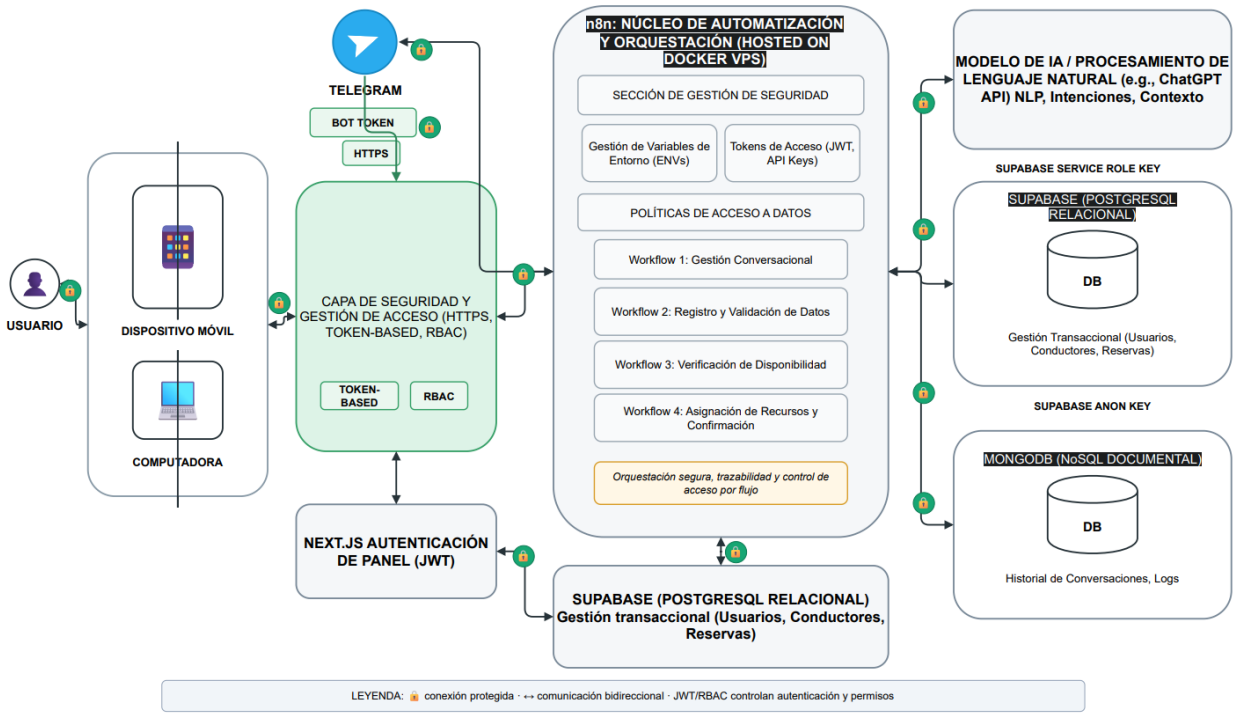


Figura 1. Arquitectura general, flujo de datos y esquema de seguridad técnica del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

- **Motor de Orquestación (n8n):** Funciona como el núcleo de automatización, alojado de forma segura en un servidor virtual privado (VPS) mediante contenedores Docker. Coordina los flujos conversacionales, el registro de datos, la verificación de disponibilidad y la asignación de recursos.

- **Modelo de IA (API de ChatGPT):** Proporciona las capacidades de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para la interpretación sintáctica y semántica de las intenciones de los usuarios.

- **Capa de Persistencia Híbrida (Supabase y MongoDB):** Supabase gestiona la estructura relacional del negocio (usuarios, conductores, horarios y reservas), mientras que MongoDB almacena el historial persistente de los chats y los logs de auditoría de los flujos de trabajo.

- **Interfaz Web Administrativa (Next.js):** Panel de control exclusivo que permite al personal autorizado de Manporcar realizar el monitoreo, la supervisión y la gestión

operativa de las reservas registradas.

Seguridad Técnica y Protección de Datos

Para mitigar los riesgos asociados a la exposición de datos y accesos no autorizados, se implementó un esquema de seguridad técnica estructurado bajo los siguientes pilares:

Cifrado de Comunicaciones (HTTPS y TLS)

Todo el tráfico de datos entre el cliente (Telegram e Interfaz Web) y el servidor (n8n y APIs de bases de datos) se realiza obligatoriamente a través del protocolo seguro **HTTPS**, utilizando TLS 1.3. Esto garantiza el cifrado de los datos en tránsito, previniendo ataques de intercepción de tráfico (Man-in-the-Middle).

Autenticación del Panel Administrativo y Manejo de Tokens

El acceso al panel de control desarrollado en Next.js está protegido mediante un mecanismo de autenticación basado en Tokens de Acceso JWT (JSON Web Tokens). Una vez que el administrador valida sus credenciales, el sistema genera un token firmado digitalmente con un tiempo de expiración limitado. Este token viaja en las cabeceras HTTP (Authorization Header) para validar la identidad en cada petición operativa.

Control de Acceso Basado en Roles (RBAC)

Dentro del panel administrativo y el flujo de n8n se aplica el principio de mínimo privilegio mediante el Control de Acceso Basado en Roles (RBAC). Se definen perfiles diferenciados (ej. Administrador General, Operador de Despacho) limitando las acciones de lectura, escritura y modificación de datos sensibles de los conductores, vehículos y reservas según las funciones asignadas.

Gestión de Variables de Entorno y Variables Sensibles

Ninguna credencial de acceso, clave privada o cadena de conexión se encuentra escrita directamente en el código fuente del proyecto (hardcoded). Todas las llaves maestras, incluyendo el **Telegram Bot Token**, la API Key de ChatGPT, y las credenciales de las bases de datos, se almacenan y gestionan estrictamente a través de Variables de Entorno (.env) configuradas de forma aislada en el entorno seguro del VPS y n8n.

Políticas de Acceso a Datos en Supabase (RLS)

La seguridad a nivel de base de datos en Supabase se controla mediante políticas de seguridad a nivel de fila (Row Level Security - RLS). El sistema diferencia el acceso utilizando la *anon key* para operaciones públicas restringidas y la *service_role key* oculta en n8n para procesos transaccionales críticos. Esto impide que cualquier usuario malintencionado pueda consultar o modificar registros inyectando comandos SQL directos a la API expuesta.

Protección de Datos Personales y Confidencialidad

En cumplimiento con los principios de confidencialidad y minimización, los datos personales de los usuarios se encuentran disociados en los entornos de simulación. MongoDB almacena los logs conversacionales identificando al usuario únicamente por su ID numérico de Telegram (Telegram User ID), evitando el almacenamiento de números de teléfono reales o información de identidad civil dentro del historial conversacional procesado por la IA.

Diseño del flujo de funcionamiento del sistema

El diseño del flujo de funcionamiento permitió modelar el comportamiento operativo del sistema desde la perspectiva del procesamiento lógico interno y el manejo de excepciones, representando de manera estructurada la secuencia de acciones, decisiones, caminos alternos y flujos de

recuperación involucrados en la gestión automatizada de reservas.

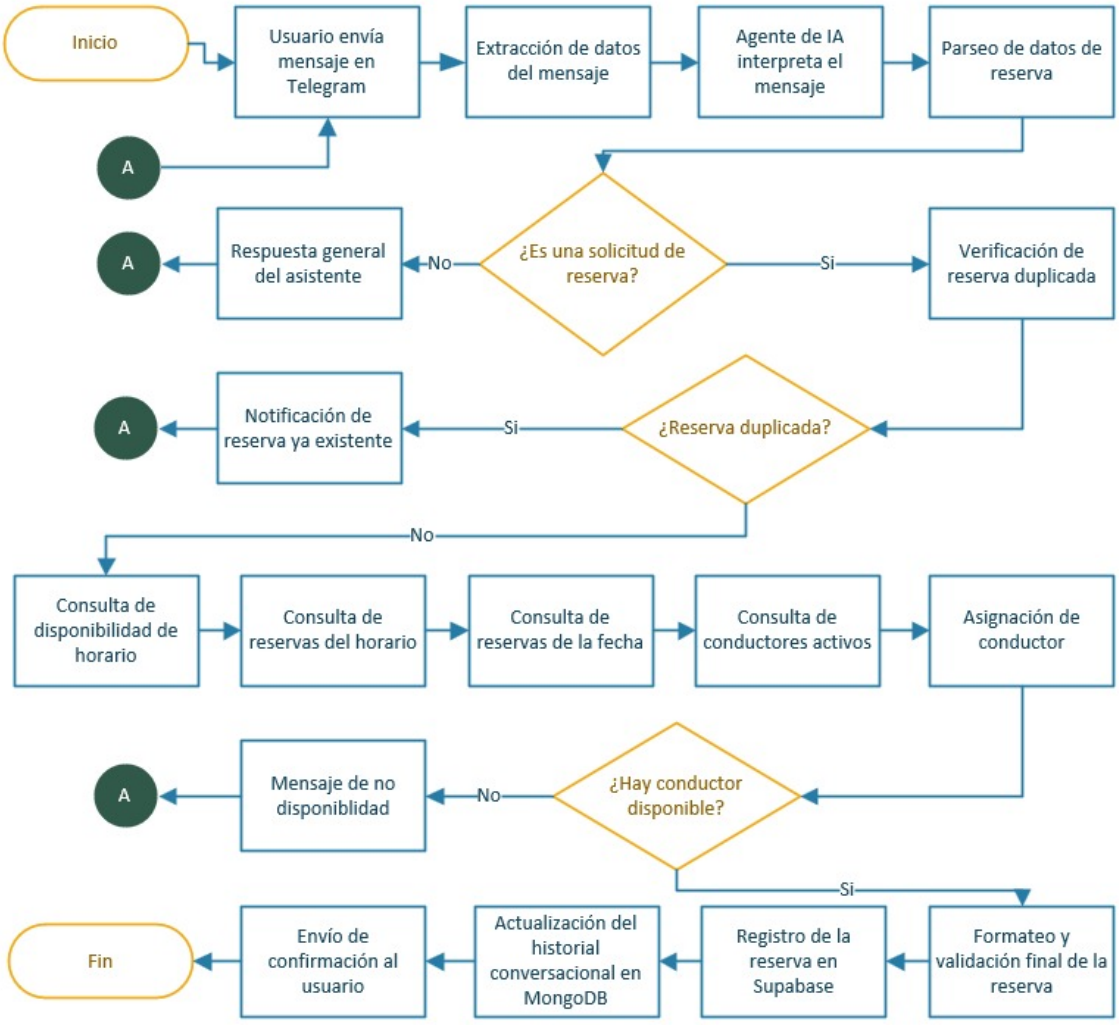


Figura 2. Diagrama de flujo detallado del sistema conversacional con gestión de excepciones y caminos alternos.

Como se observa en la Figura 2, se describe el proceso operativo desde el punto de entrada inicial hasta la generación de respuestas de éxito o mensajes de recuperación controlada. A diferencia de un flujo lineal, este diseño estructural mapea de forma explícita las Entradas/Salidas (E/S), los errores de validación de datos y las contingencias técnicas del entorno de ejecución.

Desde una perspectiva de ingeniería de requisitos y lógica de software, el flujo de funcionamiento se desglosa en las siguientes etapas distribuidas por escenarios operativos:

1. Gestión de Entradas, Salidas e Interpretación Conversacional

- **Entrada del Sistema (E):** Un objeto JSON proveniente del *Webhook* de la API de Telegram que contiene el ID del chat, el ID del usuario y el mensaje de texto plano con la solicitud del cliente.
- **Procesamiento e Interpretación:** El webhook activa el flujo en n8n, extrayendo los metadatos y enviando el texto a la API de ChatGPT. El modelo de IA actúa como un clasificador de intenciones y extractor de entidades (parseo sintáctico).
- **Camino Alterno (Intención No Relacionada):** Si la IA determina que el mensaje no corresponde a una gestión de reservas (ej. saludos cordiales, consultas ajenas al negocio), se activa una salida hacia el módulo conversacional libre de la IA, el cual genera un mensaje persuasivo para reorientar al cliente hacia el proceso de reservas.

2. Control de Excepciones en la Validación de Datos de Negocio

Una vez identificada la intención de reserva, el sistema evalúa la validez de los datos extraídos por la IA antes de interactuar con las bases de datos, implementando los siguientes caminos de excepción y mensajes de recuperación:

- **Excepción por Datos Incompletos:** Si la IA no logra extraer variables obligatorias (fecha, horario o cupos), el flujo de n8n interrumpe el registro y ejecuta un nodo de salida específico. Este nodo envía un mensaje de recuperación al usuario solicitando amablemente el dato faltante (*"Para proceder, por favor indícame la hora de tu viaje"*).
- **Excepción por Ciudad No Soportada:** Debido a que el modelo de negocio de Manporcar opera estrictamente en la ruta Manta–Portoviejo (y viceversa), si el usuario solicita un origen o destino diferente, el sistema valida la restricción geográfica y despacha una alerta informativa cancelando el flujo e invitando al usuario a seleccionar una de las rutas disponibles.

- **Excepción por Horario Inválido:** El sistema verifica sintácticamente que el formato de tiempo sea correcto y que corresponda a las ventanas operativas de la empresa. Si el usuario solicita un horario inexistente o fuera de servicio, el bot responde con la grilla de horarios disponibles autorizados.

3. Verificación de Duplicidad y Disponibilidad de Recursos

Superadas las validaciones de formato, el sistema ejecuta consultas transaccionales hacia Supabase:

- **Duplicidad de Reservas:** Se evalúa si el identificador de usuario ya cuenta con un cupo asignado para el mismo día y hora. De dar positivo, el flujo se desvía hacia un camino alterno que notifica la coincidencia para evitar reservas redundantes.
- **Falta de Disponibilidad de Conductores/Unidades:** Si la consulta relacional determina que los cupos del vehículo asignado a ese horario están al 100 % de su capacidad, el sistema salta al camino de excepción por sobreventa, notificando al usuario que la unidad está llena y sugiriendo automáticamente los horarios de salida más cercanos con asientos disponibles.

4. Gestión de Fallos Técnicos de Infraestructura (Estrategia de Tolerancia a Fallos)

El flujo en n8n incorpora nodos de control de errores globales (Error Trigger) para asegurar la continuidad del servicio ante caídas imprevistas de las APIs externas o bases de datos:

- **Fallo en las APIs (Telegram/ChatGPT) o Caída de Base de Datos (Supabase/MongoDB):** Si un nodo de base de datos o API devuelve un código de estado de error ($5xx$) o experimenta un timeout por pérdida de conexión en el servidor VPS, el sistema no se congela. Se ejecuta una directiva de **reintentos automáticos** (máximo 3 intentos con un intervalo de 5 segundos).

- **Mensaje de Recuperación Crítica (Salida de Emergencia):** Si los reintentos fallan, el flujo de contingencia captura la excepción y envía un mensaje de salida final al usuario a través de Telegram: -En este momento experimentamos intermitencias técnicas en nuestros sistemas de validación. Por favor, intenta confirmar tu reserva en unos minutos. Tu proceso no ha sido perdido-. Simultáneamente, se almacena un log de error local para auditoría del administrador.

5. Persistencia y Salida Exitosa (*S*)

Si todos los bloques lógicos previos se ejecutan de manera satisfactoria, el sistema realiza la inserción transaccional de la reserva en Supabase, guarda el historial estructurado de la conversación en MongoDB y genera la **Salida Final del Sistema (*S*)**: un mensaje interactivo en Telegram que confirma el éxito del proceso, adjuntando la hora exacta, el número de asiento y el nombre del conductor asignado.

Diseño de la base de datos

El diseño de la base de datos se realizó con el objetivo de garantizar una gestión eficiente, organizada y segura de la información generada por el sistema automatizado de reservas. Para ello, se adoptó una arquitectura de almacenamiento híbrida, combinando una base de datos relacional y una base de datos NoSQL, en función de la naturaleza y características de los datos gestionados.

Base de datos relacional en Supabase

La base de datos relacional implementada en Supabase se utiliza para el almacenamiento de la información estructurada del negocio. A diferencia de un modelo desnormalizado, se ha diseñado una arquitectura que separa la identidad del cliente de la transacción de la reserva, garantizando la Tercera Forma Normal (3FN), mitigando la redundancia de datos y permitiendo la trazabilidad

histórica de múltiples viajes por un mismo cliente.

El diseño se fundamenta en un modelo entidad-relación (ER), el cual organiza la información en tablas interrelacionadas mediante claves primarias y foráneas:

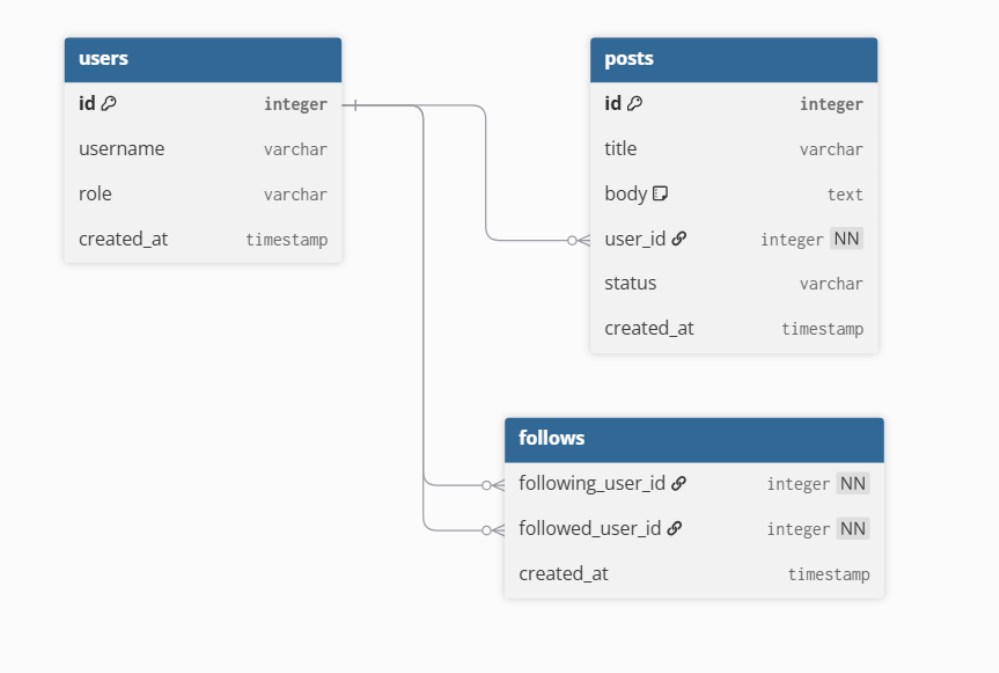


Figura 3. Diagrama Entidad-Relación de la base de datos relacional implementada en Supabase.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 3, la estructura relacional está compuesta por las entidades **Usuarios**, **Conductores**, **Horarios** y **Reservas**, vinculadas mediante relaciones de cardinalidad lógicas que soportan las reglas operativas de la empresa Manporcar.

De forma específica, los componentes y funciones del modelo se detallan a continuación:

- **Usuarios:** Almacena la información de identidad y contacto de los pasajeros que interactúan con el bot. Centraliza el *id* (clave primaria originada por el ID único de Telegram), el *nombre* y el *telefono*. Su separación en una entidad independiente permite que un usuario registre múltiples reservas a lo largo del tiempo sin duplicar sus datos personales en el sistema.

- **Conductores:** Registra al personal operativo encargado de las unidades de transporte, guardando su nombre, teléfono y un estado booleano de activación (*activo*) para determinar si puede recibir asignaciones de viajes.
- **Horarios:** Define las frecuencias de viaje de las rutas diarias. Almacena la *fecha*, el *horario* de salida y el *cupo_maximo* permitido por unidad vehicular, actuando como el pivote para el control de sobreventas.
- **Reservas:** Constituye la tabla transaccional central. Relaciona las tres entidades previas mediante claves foráneas (*usuario_id*, *conductor_id*, *horario_id*), documentando las ciudades de origen/destino y la estampa de tiempo de la transacción.

Restricciones de Integridad y Reglas de Negocio (Constraints)

Para asegurar la consistencia del sistema en escenarios concurrentes y evitar la corrupción de datos, se configuraron las siguientes restricciones directamente en el motor PostgreSQL de Supabase:

- **Restricción de Unicidad (Unique Constraint):** Para evitar registros redundantes o ataques de spam en el chatbot, se aplicó una clave única compuesta en la tabla `RESERVAS` basada en los campos `(usuario_id, fecha, horario_id)`. Esto impide matemáticamente que un mismo usuario genere dos reservas para la misma fecha y hora.
- **Restricción de Validación de Estados (Check Constraint):** El campo `estado` en la tabla `RESERVAS` está limitado estrictamente mediante una restricción de verificación a un conjunto de valores permitidos: `CHECK (estado IN ('pendiente', 'confirmada', 'cancelada'))`.
- **Integridad Referencial y Políticas de Actualización:** Las claves foráneas están configuradas con la directiva `ON DELETE RESTRICT` y `ON UPDATE CASCADE`. Esto

garantiza que no se pueda eliminar un horario o un conductor si existen reservas activas asociadas a ellos, protegiendo el historial operativo.

- **Optimización de Consultas mediante Índices:** Se crearon índices compuestos indexados por los campos `(fecha, horario_id)` en las tablas `HORARIOS` y `RESERVAS`. Estos índices reducen la latencia del flujo de n8n a milisegundos al momento de calcular la disponibilidad de cupos en tiempo real antes de confirmar el mensaje.

Base de datos NoSQL en MongoDB

La base de datos NoSQL implementada en MongoDB se utilizó para el almacenamiento del historial de conversaciones generadas por el chatbot en la plataforma Telegram, permitiendo gestionar información no estructurada de manera flexible y eficiente.

Se creó una colección denominada Telegram Chat History, en la cual se almacena un documento por cada usuario, identificado mediante su sessionId. Cada documento contiene un identificador único generado por MongoDB y un arreglo que registra el historial completo de mensajes intercambiados entre el usuario y el chatbot. Este enfoque permite conservar el contexto conversacional de cada interacción, lo que resulta fundamental para mejorar la continuidad del diálogo y la capacidad del sistema para generar respuestas coherentes y contextualizadas.

Desde una perspectiva técnica, el uso de MongoDB permite manejar estructuras de datos dinámicas sin necesidad de esquemas rígidos, lo cual es adecuado para el procesamiento de conversaciones, donde la información puede variar en estructura y contenido. La integración de bases de datos relacionales y NoSQL permite una gestión eficiente tanto de datos estructurados como no estructurados, fortaleciendo la capacidad del sistema para operar de manera robusta, escalable y adaptativa.

Fase 2: Desarrollo del prototipo

La fase de desarrollo consistió en la implementación técnica del sistema, estructurado en módulos funcionales que permitieron una mejor organización y mantenimiento del sistema.

Módulo de administración

El módulo de administración fue implementado mediante una aplicación web desarrollada con el framework Next.js, concebida específicamente como un panel de consulta y seguimiento operativo del prototipo del sistema de reservas. Esta interfaz permite al personal administrativo realizar la visualización organizada de la información almacenada en la base de datos Supabase, facilitando el monitoreo del estado operativo de los servicios. Como se observa en la Figura 4, se presenta la interfaz del módulo de administración del sistema.

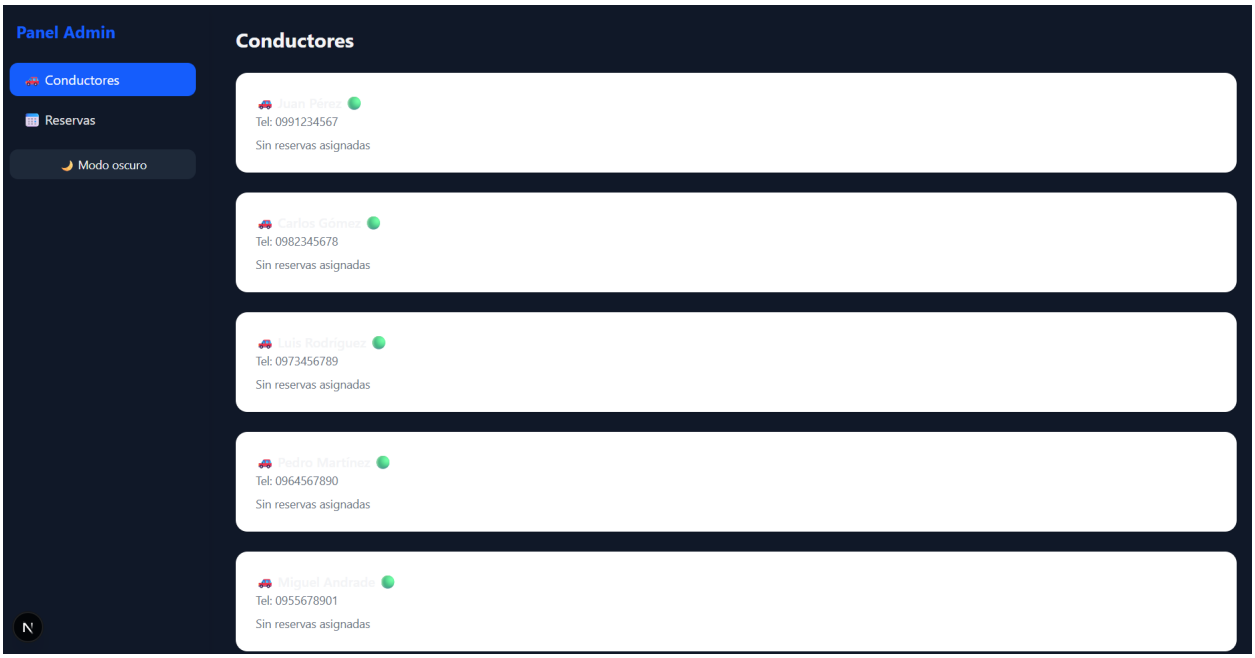


Figura 4. Interfaz del módulo de administración (panel de consulta para prototipo).

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 4, la interfaz muestra un panel lateral de navegación con las

principales secciones disponibles. En la sección central, se presenta un listado detallado de conductores registrados en el sistema, donde se visualiza información relevante como el nombre, número de contacto, estado (activo o inactivo) y la unidad asignada. Asimismo, la interfaz permite observar de forma clara la disponibilidad de cada conductor y sus reservas asignadas, facilitando la consulta de información del servicio. Es importante destacar que, para esta fase de prototipo, el módulo no permite la edición ni modificación de datos, enfocándose exclusivamente en la visualización segura y ordenada de la información registrada.

Recomendaciones para Futuras Funciones

A pesar de las capacidades actuales de consulta, se identifican las siguientes recomendaciones de mejora para futuras iteraciones del módulo de administración:

- **Mecanismos de búsqueda y filtrado:** Incorporar una barra de búsqueda para localizar conductores por nombre o teléfono, junto con filtros avanzados (por estado o unidad) que agilicen la consulta de grandes volúmenes de datos.
- **Gestión controlada de estados:** Implementar una función que permita al administrador cambiar el estado operativo de los conductores (ej. ’inactivo’ por ’activo’) mediante un simple clic, con la debida validación.
- **Edición controlada de datos:** Habilitar la edición de campos específicos (como el teléfono) mediante formularios modales, integrando validaciones de seguridad para prevenir la introducción de datos erróneos o malintencionados.
- **Exportación de información:** Añadir botones para descargar el listado de conductores en formatos estándar como CSV o Excel, facilitando análisis externos o reportes operativos.
- **Módulo de auditoría y registros:** Desarrollar un historial de actividades que registre quién, cuándo y qué cambios realizó sobre la información, garantizando la trazabilidad y la seguridad en la gestión de datos.

Módulo de automatización

El módulo de automatización fue implementado mediante la plataforma n8n, la cual permite orquestar flujos de trabajo automatizados que integran servicios de mensajería, procesamiento de lenguaje natural y bases de datos. A continuación, se presenta la primera parte del flujo automatizado:

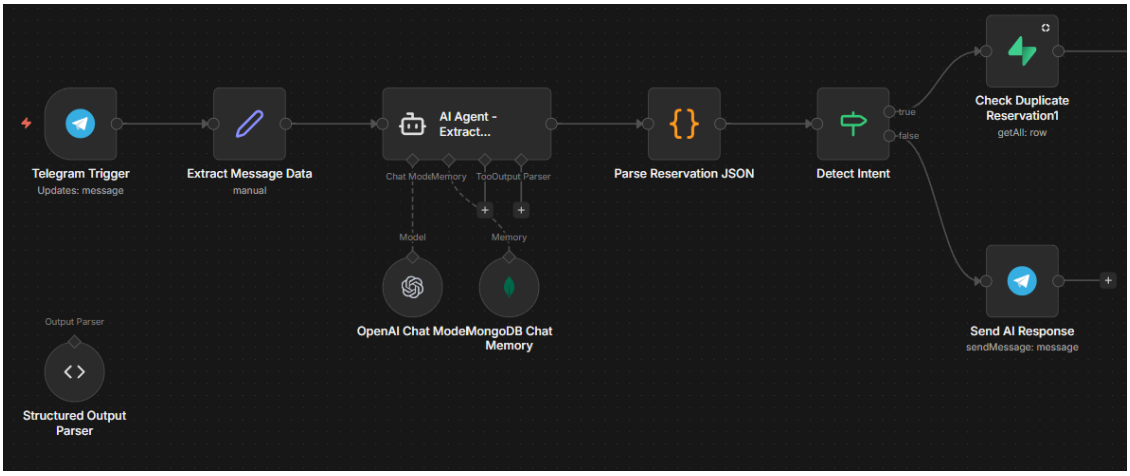


Figura 5. Flujo inicial de procesamiento del chatbot en n8n.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 5, el flujo inicia con el nodo Telegram Trigger, encargado de recibir en tiempo real los mensajes enviados por los usuarios. Posteriormente, el nodo Extract Message Data procesa la información recibida, extrayendo datos relevantes como identificador del usuario, contenido del mensaje y metadatos asociados.

A continuación, el nodo AI Agent - Extract Reservation Data emplea un modelo de lenguaje basado en inteligencia artificial para interpretar la intención del usuario y extraer información relevante en caso de tratarse de una solicitud de reserva. Este proceso se apoya en un sistema de memoria conversacional almacenado en MongoDB, lo que permite mantener el contexto de las interacciones.

Seguidamente, el nodo Parse Reservation JSON transforma la salida del modelo en un formato estructurado, facilitando su procesamiento dentro del sistema. Finalmente, el nodo Detect Intent

determina si el mensaje corresponde a una solicitud de reserva o a una consulta general, dirigiendo el flujo hacia la respuesta automática o hacia el proceso de validación.

Ingeniería de Prompts y Esquema de Datos (JSON)

Para garantizar el funcionamiento determinista del nodo *AI Agent*, se diseñó un prompt del sistema (System Prompt) bajo técnicas de ingeniería de prompts de rol y restricciones estrictas. Este prompt instruye al modelo para actuar como extractor de entidades y obliga a una salida de datos en formato JSON plano sin decoradores de texto.

Prompt Técnico del Sistema:

```
Eres un asistente de reservas por Telegram para transporte terrestre entre
Portoviejo y Manta. Tu objetivo es registrar reservas de transporte de forma
rápida, clara y sin errores. Sé profesional y directo. No inventes información
ni asumas datos que el cliente no haya proporcionado.

Ruta disponible: Portoviejo <-> Manta.
Tiempo de viaje: Duración estimada 1 hora. El pasajero es recogido 1 hora
y 30 minutos antes de la hora de llegada solicitada.

Datos necesarios para registrar una reserva:
- Nombre, Cédula, Ciudad de salida, Ciudad de llegada, Fecha del servicio,
  Hora de llegada deseada, Ubicación de recogida, Número de contacto.

Normalización de datos:
- Si el cliente escribe "porto" o "pto", interprétalo como "Portoviejo".
- Guarda siempre la fecha en formato YYYY-MM-DD y la hora en formato HH:mm.
```

```
Validaciones:
- La ciudad de salida y la ciudad de llegada no pueden ser iguales.
- La ruta solo puede ser Portoviejo <-> Manta.

Instrucción de Salida:
Cuando tengas TODOS los datos correctos, responde ÚNICAMENTE con un objeto
JSON válido, sin texto adicional, sin formato markdown block, sin emojis y
sin explicaciones. El JSON debe cumplir estrictamente con la estructura definida.
```

Esquema JSON de Intercambio de Datos:

La salida generada por la API de la Inteligencia Artificial debe acoplarse obligatoriamente al siguiente esquema estructural para asegurar la interoperabilidad con el nodo posterior *Parse Reservation JSON*:

```
{
  "$schema": "http://json-schema.org/draft-07/schema#",
  "type": "object",
  "properties": {
    "nombre": { "type": "string" },
    "cedula": { "type": "string", "pattern": "^[0-9]{10}$" },
    "origen": { "type": "string", "enum": ["Portoviejo", "Manta"] },
    "destino": { "type": "string", "enum": ["Portoviejo", "Manta"] },
    "fecha": { "type": "string", "format": "date" },
    "hora": { "type": "string", "pattern": "^([0-1]?[0-9]|2[0-3]):[0-5][0-9]$" },
    "ubicacion": { "type": "string" },
    "contacto": { "type": "string" }
```

```
  },
  "required": ["nombre", "cedula", "origen", "destino", "fecha", "hora", "ubicacion"]
}
```

Límites de Confianza del Modelo y Manejo de Errores Semánticos:

Para mitigar el riesgo de alucinaciones (generación de datos falsos por parte de la IA), el nodo utiliza los siguientes parámetros de control técnico:

- **Temperatura ($T = 0{,}0$):** Configurada en cero absoluto para anular la aleatoriedad y variabilidad creativa del modelo, forzando respuestas deterministas, repetibles y basadas estrictamente en los datos proporcionados de manera explícita por el usuario.
- **Manejo de Errores Semánticos (Falta de Datos):** Si el cliente proporciona información parcial, el prompt restringe al modelo la capacidad de autocompletar variables. El flujo de n8n evalúa el JSON resultante; ante la ausencia de una propiedad obligatoria, el bot suspende el flujo transaccional y despacha un mensaje conversacional direccionado a capturar exclusivamente el dato faltante.

Mecanismo de Normalización de Datos para la Prevención de Duplicados:

Para asegurar que las restricciones de la base de datos no fallen debido a variaciones tipográficas o de escritura por parte del usuario al chatear, el flujo de n8n ejecuta un proceso de normalización de datos en dos niveles antes de evaluar la existencia de duplicados:

- **Normalización Geográfica (Rutas):** El modelo de IA, guiado por las instrucciones del prompt del sistema, actúa como un filtro de limpieza semántica. Si el usuario escribe variaciones como “porto”, “pto”, “manta”, “mta”, o errores ortográficos comunes, el agente traduce de forma determinista estas cadenas a los valores estandarizados legibles por la base de datos: `'Portoviejo'` o `'Manta'`.

- **Normalización Telefónica (Contacto):** El nodo *Format and Validate Reservation Data* aplica expresiones regulares (Regex) sobre el campo de contacto extraído. Este subproceso elimina automáticamente espacios en blanco, guiones, paréntesis o el prefijo internacional (+593), unificando el formato a una cadena numérica limpia de 10 dígitos. Esto evita que el sistema ignore un duplicado si un mismo teléfono es ingresado con diferentes formatos de texto (ej. 0999999999 frente a 099-999-999).

A continuación, se presenta la segunda parte del flujo automatizado correspondiente a la validación y procesamiento de la reserva:

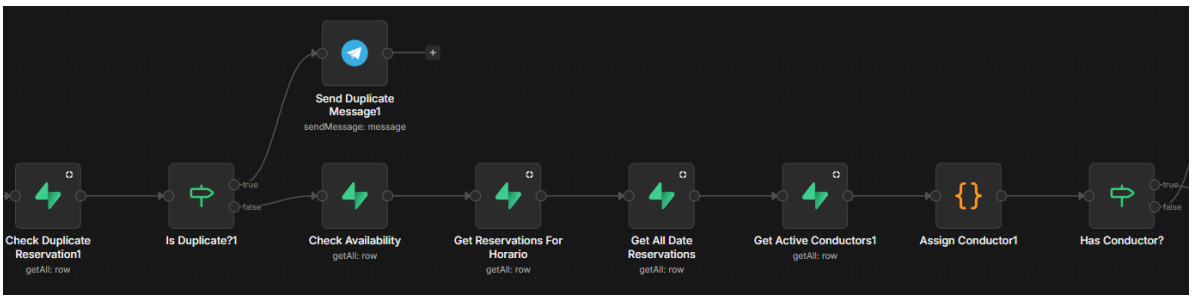


Figura 6. Flujo de validación de reservas y asignación de recursos en n8n.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 6, el proceso inicia con el nodo *Check Duplicate Reservation*, el cual verifica en la base de datos si ya existe una coincidencia exacta mediante la evaluación del criterio compuesto: **Teléfono + Fecha + Horario + Ruta (Origen y Destino)**.

Posteriormente, el nodo *Is Duplicate?* evalúa el resultado de la consulta. En caso de detectarse una reserva que coincida simultáneamente con estas cuatro variables del negocio, el flujo se desvía al nodo *Send Duplicate Message*, el cual notifica al usuario que ya cuenta con una solicitud registrada para ese itinerario específico, evitando así inconsistencias y duplicidades innecesarias en el sistema.

En caso de no existir duplicidad, el flujo continúa con el nodo *Check Availability*, que consulta la disponibilidad del horario solicitado en la base de datos.

A continuación, el nodo *Get Reservations For Horario* obtiene las reservas existentes para el horario específico, mientras que el nodo *Get All Date Reservations* recupera todas las reservas registradas en la misma fecha. Esta información permite evaluar la carga operativa del sistema.

Seguidamente, el nodo *Get Active Conductors* consulta los conductores disponibles en el sistema, considerando únicamente aquellos que se encuentran activos.

El nodo *Assign Conductor* implementa la lógica de asignación de conductores, tomando en cuenta criterios como la disponibilidad, la cantidad de pasajeros asignados por horario y restricciones de tiempo entre viajes, con el fin de optimizar la distribución de recursos.

La robustez del flujo se complementa con una estrategia de tolerancia a fallos ante errores en tiempo de ejecución (Runtime Errors). Cada nodo de consulta a APIs y bases de datos posee una directiva de reintentos (Retry) configurada para 3 ejecuciones con un intervalo de 5 segundos en caso de caídas temporales de red o latencias altas, desviándose hacia un nodo de manejo de excepciones generales si el fallo persiste.

Finalmente, se presenta la última parte del flujo automatizado correspondiente al registro de la reserva y la notificación al usuario:

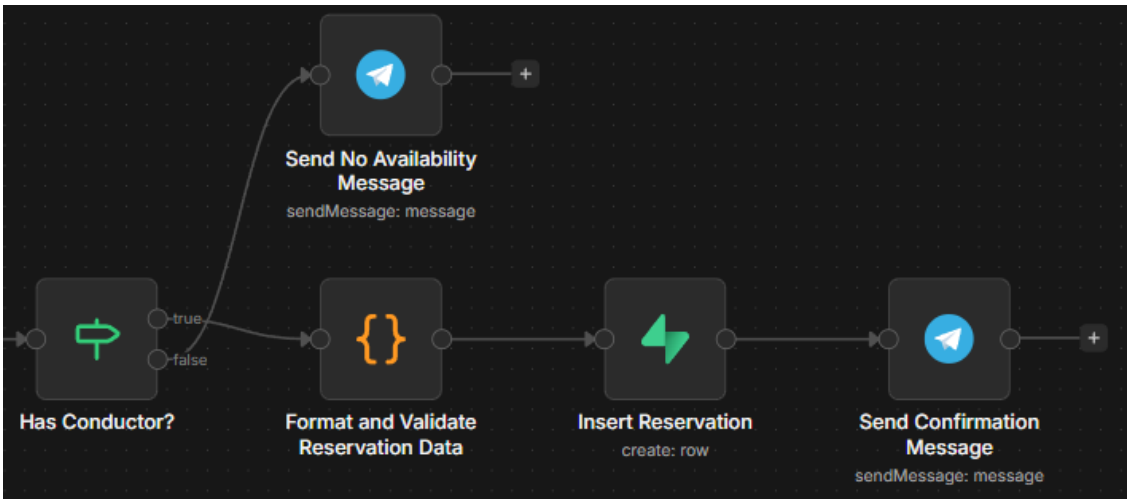


Figura 7. Flujo de registro de la reserva y envío de confirmación al usuario en n8n.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 7, el nodo *Has Conductor?* determina la disponibilidad de un conductor para atender la solicitud.

En caso de no existir disponibilidad, el flujo se dirige al nodo *Send No Availability Message*, el cual envía un mensaje al usuario informando que no hay conductores disponibles en el horario solicitado, sugiriendo alternativas de horario.

Por el contrario, si existe un conductor disponible, el flujo continúa con el nodo *Format and Validate Reservation Data*, el cual se encarga de formatear, validar y estructurar la información de la reserva, asegurando que todos los datos requeridos sean correctos antes de su almacenamiento.

Posteriormente, el nodo *Insert Reservation* registra la información de la reserva en la base de datos relacional Supabase, garantizando la persistencia de los datos.

La capa de almacenamiento cuenta con restricciones integradas de validación sintáctica y tipos estrictos de datos que actúan como un segundo muro de control de errores. Por último, el nodo *Send Confirmation Message* envía al usuario un mensaje de confirmación a través de Telegram, incluyendo los detalles de la reserva y la información del conductor asignado.

En conjunto, este flujo permite completar el proceso de reserva de manera automatizada, asegurando la validación de datos, la correcta asignación de recursos y la retroalimentación inmediata al usuario.

Fase 3: Validación del sistema

La fase de validación se orientó a la verificación del correcto funcionamiento del sistema desarrollado y a la evaluación de su desempeño técnico y funcional en un entorno controlado, con el fin de determinar su efectividad en la automatización del proceso de reservas.

Configuración del entorno de pruebas

Se configuró un entorno de pruebas controlado utilizando datos ficticios, con el objetivo de simular el proceso de reservas sin comprometer información real. Este entorno permitió reproducir escenarios representativos del funcionamiento del sistema en condiciones reales de uso.

Delimitación del Entorno de Laboratorio:

Es imperativo precisar desde la perspectiva metodológica que todas las métricas, pruebas de carga y tiempos de procesamiento registrados pertenecen a un **ambiente controlado de laboratorio sobre un prototipo funcional**. Por consiguiente, los resultados obtenidos no corresponden a una fase de operación real en vivo con usuarios concurrentes orgánicos ni tráfico comercial masivo e impredecible, sino a simulaciones estructuradas bajo un esquema de pruebas preexperimental.

Durante esta fase, se ejecutaron pruebas experimentales orientadas a verificar el comportamiento del sistema en cada una de sus etapas, incluyendo la recepción de mensajes desde Telegram, el procesamiento de solicitudes mediante el chatbot, la validación de datos ingresados por el usuario, el registro de reservas en la base de datos Supabase, el almacenamiento del historial conversacional en MongoDB y el envío de confirmaciones automáticas al usuario. Adicionalmente, se realizaron pruebas consecutivas de interacción con el sistema, con el fin de evaluar su estabilidad operativa, consistencia en el procesamiento de datos y capacidad de respuesta ante múltiples solicitudes simultáneas inyectadas de forma artificial.

Registro y análisis de datos

Durante la fase de validación se recopilaron métricas técnicas y datos de percepción del usuario, con el propósito de evaluar el desempeño del sistema de manera objetiva. Entre las métricas analizadas se incluyen el tiempo de respuesta del chatbot, la tasa de éxito en la gestión de

reservas, la reducción de errores en la asignación de cupos y el nivel de satisfacción del usuario. Estas métricas fueron obtenidas mediante la ejecución de pruebas controladas y la aplicación de encuestas estructuradas a los usuarios participantes.

Formalización Matemática de las Métricas Técnicas:

Para dotar de rigor estadístico y analítico a la evaluación del prototipo, el procesamiento de los logs del sistema se guio bajo las siguientes ecuaciones analíticas:

- **Tasa de Éxito (TE_x):** Mide la eficacia del sistema para concluir satisfactoriamente los flujos de reservas que cumplen con las reglas de negocio sintácticas.

$$TE_x = \left(\frac{\text{Número de Reservas Exitosas}}{\text{Total de Solicitudes Válidas Procesadas}} \right) \times 100$$

- **Tasa de Error (TE_r):** Determina la incidencia de fallos lógicos, conflictos de concurrencia o colisiones de datos (sobreventas, duplicados no controlados) en el repositorio relacional.

$$TE_r = \left(\frac{\text{Número de Reservas con Conflicto}}{\text{Total de Reservas Registradas}} \right) \times 100$$

- **Tiempo Promedio de Respuesta ($\bar{t}$):** Expresa la media aritmética de la latencia total transcurrida desde que el webhook de Telegram recibe la entrada hasta que el bot despacha la salida final de confirmación en los N ciclos de prueba ejecutados.

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} t_i$$

- **Desviación Estándar del Tiempo (s):** Permite evaluar la estabilidad y consistencia del servidor VPS y las APIs (n8n, ChatGPT, Supabase), midiendo la dispersión de los tiempos

de respuesta individuales respecto al promedio calculado.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(t_i - \bar{t})^2}{N-1}}$$

Los datos recopilados fueron analizados mediante estadística descriptiva apoyada en estas ecuaciones, permitiendo identificar patrones de comportamiento del sistema y evaluar su efectividad en la optimización del proceso de reservas. Esta fase permitió validar el correcto funcionamiento del sistema y demostrar su capacidad teórica para mejorar la eficiencia operativa, reducir errores y aumentar la satisfacción del usuario en comparación con el proceso manual tradicional, sentando las bases técnicas para un futuro despliegue en producción real.

Resultados

El presente capítulo expone los hallazgos obtenidos tras la ejecución de la metodología propuesta. Los resultados se organizan de manera lógica con el fin de dar respuesta a las preguntas de investigación y verificar el cumplimiento de los objetivos específicos planteados. Se presentan los resultados del análisis del proceso de reservas, el funcionamiento del prototipo del chatbot conversacional y la validación cuantitativa y cualitativa del sistema implementado.

Resultados del análisis del proceso de reservas

En respuesta a la primera pregunta de investigación, relacionada con la identificación de las deficiencias del proceso manual de reservas, se evidenciaron múltiples limitaciones operativas durante la fase de diagnóstico técnico.

Para contextualizar el origen de estos datos, a continuación se describe la ficha técnica del proceso de levantamiento de información inicial, garantizando la transparencia del procedimiento y el control de sesgos:

- **Fecha de aplicación:** El levantamiento de datos se llevó a cabo entre el 1 y el 15 de febrero de 2026.
- **Número de participantes:** Se trabajó con una muestra controlada de 10 usuarios frecuentes ($n = 10$).
- **Perfil de los participantes:** Clientes recurrentes que realizan viajes en la ruta Manta–Portoviejo al menos tres veces por semana utilizando el servicio de Manporcar.
- **Instrumento y escala:** Cuestionario estructurado con preguntas cerradas de selección

múltiple y una guía de entrevista/observación de campo.

- **Procedimiento:** Interacción presencial directa en los puntos de despacho del servicio para capturar la experiencia del usuario en tiempo real.
- **Control de sesgos y limitaciones:** Para mitigar el sesgo de selección y de deseabilidad social, las encuestas fueron completamente anónimas y se aplicaron fuera del horario laboral de los administradores. La principal limitación del diagnóstico radica en que los datos reflejan un escenario transaccional específico, por lo que el análisis se orienta a caracterizar el prototipo en un entorno controlado y no a generalizar el comportamiento del mercado de transporte terrestre masivo.

Matriz de Levantamiento de Requerimientos

De acuerdo con lo establecido en la Fase 1 de la metodología, la guía de entrevista estructurada y las bitácoras de observación de campo se utilizaron exclusivamente como herramientas de ingeniería de requisitos. La Tabla 4 detalla la matriz de análisis que sintetiza cómo los hallazgos cualitativos del diagnóstico operativo se tradujeron directamente en requerimientos funcionales y reglas lógicas para el chatbot conversacional.

Tabla 4. Matriz de traducción de hallazgos operativos a requerimientos lógicos

Instrumento / Fuente	**Hallazgo Operativo Detectado**	**Traducción / Requerimiento en n8n y Base de Datos**
Observación de Campo	El operador manual anota datos dispersos, omitiendo en ocasiones el teléfono o la cédula.	Validación sintáctica obligatoria en el prompt de la IA y campos de tipo `NOT NULL` en Supabase.
Entrevista a Operador	Ocurren sobreventas porque dos clientes solicitan el mismo asiento al mismo tiempo por canales distintos.	Configuración de un Unique Constraint compuesto en Supabase: `(telefono, fecha, horario_id, ruta)`.
Observación de Campo	Los usuarios escriben de forma descuidada el nombre de la ciudad (ej. “porto”, “mta”), ralentizando el registro.	Módulo de normalización geográfica integrado en el prompt del sistema de ChatGPT API.
Entrevista a Operador	Pérdida de tiempo restando horas manualmente para calcular a qué hora recoger al pasajero en su domicilio.	Nodo JavaScript en n8n que automatiza el cálculo restando de forma determinista 1 hora y 30 minutos a la hora de salida.

Cuantificación de Deficiencias Operativas

Complementando el diagnóstico de ingeniería de software, la encuesta inicial aplicada a los 10 usuarios frecuentes documentó de manera estadística la recurrencia de estas problemáticas. Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Principales deficiencias del proceso manual de reservas

Problema identificado	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Retrasos en la atención	8	80 %
Errores en asignación de cupos	7	70 %
Falta de disponibilidad	6	60 %
Duplicidad de reservas	5	50 %

Nota: Pregunta de selección múltiple donde el usuario podía marcar más de una opción simultáneamente. Los porcentajes se calculan individualmente sobre la base de $n = 10$, razón por la cual la sumatoria es superior al 100 %.

Los resultados evidencian que el 80 % de los usuarios (frecuencia = 8) percibe los retrasos en la atención como el principal inconveniente del sistema manual, lo cual valida la necesidad de un motor de automatización asíncrono como n8n que atienda de manera inmediata 24/7. Esto es seguido por los errores en la asignación de cupos con un 70 % (frecuencia = 7) y la falta de disponibilidad con el 60 %, inconvenientes que se mitigan mediante la consulta transaccional en tiempo real a Supabase.

Finalmente, la duplicidad de reservas alcanza una frecuencia de 5 usuarios (50 %), confirmando la importancia crítica de implementar restricciones de unicidad compuestas (Unique Constraints) en la base de datos, asegurando que no se registren múltiples transacciones para el mismo usuario, fecha y horario de manera simultánea. Asimismo, esto valida la necesidad de procesos de normalización telefónica y de rutas detallados para garantizar la integridad de los datos de contacto durante el flujo del sistema.

Resultados del diseño del flujo automatizado

Como parte de la validación del sistema propuesto, se evaluó la percepción de los usuarios respecto al funcionamiento del flujo automatizado implementado mediante el chatbot conversacional en la fase de postprueba controlada. En primer lugar, se analizó la comodidad del sistema en comparación con el método manual tradicional. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Nivel de comodidad del sistema automatizado

Nivel de respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Más cómodo	8	80 %
Igual	1	10 %
Menos cómodo	1	10 %
Total	10	100 %

Se observa que el 80 % de los usuarios (frecuencia = 8) considera que el sistema automatizado es más cómodo que el método manual, lo que indica que la gran mayoría de los participantes reporta una mejora percibida y una optimización favorable en la experiencia de uso. Por otro lado, un 10 % (frecuencia = 1) considera que el sistema mantiene el mismo nivel de comodidad, mientras que otro 10 % (frecuencia = 1) percibe una menor comodidad. Estos resultados evidencian que, aunque el sistema cuenta con una valoración mayoritariamente positiva, existen casos puntuales en los que la experiencia puede ser optimizada.

En segundo lugar, se evaluó la intención de uso del sistema en futuras reservas de la ruta Manta–Portoviejo, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Intención de uso del sistema automatizado

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	9	90 %
No	1	10 %
Total	10	100 %

Los resultados indican que el 90 % de los usuarios (frecuencia = 9) estaría dispuesto a utilizar nuevamente el sistema, lo que refleja un alto nivel de aceptación adaptativa del chatbot como herramienta de gestión de reservas. En contraste, un 10 % (frecuencia = 1) manifiesta que no lo utilizaría en el futuro, lo cual puede estar asociado a variaciones en las expectativas individuales o a la preferencia por canales tradicionales de interacción humana. En términos generales de estadística descriptiva, la alta frecuencia de respuestas positivas evidencia la viabilidad y aceptación del prototipo implementado.

Finalmente, se analizó el nivel de satisfacción de los usuarios mediante la escala Likert de cinco puntos, cuyos resultados consolidados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Nivel de satisfacción del sistema automatizado

Escala Likert	Frecuencia	Ponderación
5 (Muy satisfecho)	3	15
4 (Satisfecho)	4	16
3 (Neutral)	2	6
2 (Insatisfecho)	1	2
1 (Muy insatisfecho)	0	0
Total	10	39

El promedio aritmético de satisfacción obtenido fue de 3.9 sobre 5.0, lo que representa una

tendencia de valoración favorable hacia el comportamiento general del sistema. Este resultado se sustenta en que la mayor concentración de las frecuencias se ubica en los niveles superiores de la escala, acumulando un 70 % de los usuarios (frecuencia = 7) entre los rangos de “satisfecho” y “muy satisfecho”.

No obstante, desde la perspectiva del análisis descriptivo de este prototipo, la presencia de un 30 % de usuarios en niveles neutros o insatisfechos se asocia directamente a las restricciones técnicas propias del entorno de laboratorio. Aspectos como los reintentos automatizados ante fallos simulados y los tiempos de espera controlados introducidos en los flujos de n8n para garantizar la consistencia de los datos influyeron en la percepción de la fluidez del chat. Estas interacciones específicas revelan áreas de oportunidad clave para refinar la velocidad de respuesta del modelo conversacional y simplificar los diálogos lógicos de la Inteligencia Artificial en próximas fases de desarrollo.

Resultados del desarrollo del prototipo funcional

En atención a la tercera pregunta de investigación, relacionada con la construcción del prototipo funcional, se obtuvo un chatbot conversacional completamente operativo, capaz de automatizar el proceso de reservas del servicio de transporte compartido entre las ciudades de Manta y Portoviejo.

El sistema implementado permitió gestionar el registro de usuarios, la creación de reservas y la asignación automática de conductores previamente configurados en la base de datos Supabase. Asimismo, se desarrolló una interfaz web en Next.js que facilita la visualización y monitoreo en tiempo real de las reservas y conductores registrados.

Durante las pruebas experimentales, los participantes interactuaron con el sistema simulando escenarios reales de reserva, lo que permitió evaluar aspectos como funcionalidad, estabilidad y coherencia del sistema. Los resultados obtenidos evidencian que el prototipo cumple con los

requerimientos funcionales definidos en la fase de diseño, garantizando la automatización del proceso de reservas y su correcto funcionamiento en un entorno controlado.

Resultados cuantitativos del desempeño del sistema

Para evaluar el desempeño del chatbot, se emplearon métricas descriptivas basadas en las variables formalizadas en el marco metodológico. El nivel de satisfacción del usuario fue calculado mediante el promedio aritmético de las respuestas obtenidas en la escala Likert, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$$

Donde:

- $\bar{X}$ representa el valor promedio de la métrica evaluada.
- n corresponde al número total de encuestas realizadas, siendo en este estudio un total de 10 usuarios.
- X_i representa el valor individual obtenido en cada medición.

Para un análisis riguroso de la latencia y la estabilidad del motor de automatización, la medición del tiempo de respuesta del chatbot abarcó un universo de **un número total de 200 interacciones automatizadas y simuladas** distribuidas a lo largo de los ciclos de pruebas en el entorno de laboratorio. Estas pruebas controladas registraron el tiempo exacto transcurrido desde que el *webhook* del sistema recibe el objeto JSON de Telegram hasta que el flujo de n8n despacha la confirmación final tras realizar las consultas transaccionales pertinentes.

En la Figura 8 se presenta un ejemplo de captura de logs de una transacción específica, donde se obtuvo un tiempo de respuesta de 11.70 segundos.



Figura 8. Tiempo que le toma al chatbot recibir, procesar, asignará y responder una reserva (11.70 segundos).

A partir del procesamiento completo de la bitácora de logs de las interacciones measured en el entorno controlado, se estructuró un análisis de distribución de tiempos para contrastar el comportamiento del prototipo frente al Requerimiento No Funcional (RNF) que exige un tiempo máximo de respuesta de 10.00 segundos en el 95 % de las interacciones. Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis estadístico descriptivo del tiempo de respuesta y evaluación de RNF

Métrica Estadística	**Valor (segundos)**
Mínimo ($t_{\text{mín}}$)	10.80
Máximo ($t_{\text{máx}}$)	12.30
Mediana ($\tilde{t}$)	11.20
Percentil 95 (P_{95})	12.15
Promedio ($\bar{t}$)	**11.40**
Porcentaje de cumplimiento de la meta ($t \leq 10$ s)	**0.00 %**

Análisis de Cumplimiento del Requerimiento No Funcional:

Al evaluar los datos obtenidos, se determina que no existe un cumplimiento pleno del requerimiento no funcional de velocidad de respuesta. Debido a que el tiempo mínimo registrado en el laboratorio fue de 10.80 segundos y el promedio general se situó en 11.40 segundos con un $P_{95} = 12{,}15$ segundos, el 0.00 % de las interacciones evaluadas logró ubicarse por debajo del umbral de los 10.00 segundos exigidos.

Desde una perspectiva de arquitectura de software, este desfase no responde a deficiencias en la lógica local de n8n ni a las consultas indexadas de Supabase (las cuales se ejecutan en milisegundos), sino a la dependencia crítica de la API externa de ChatGPT para las tareas de parseo sintáctico y clasificación de intenciones. El tiempo de procesamiento semántico latente del modelo de lenguaje grande (LLM) en la nube comercial introduce un cuello de botella que imposibilita la inmediatez total en la arquitectura síncrona actual.

Para evaluar integralmente el comportamiento simbiótico de las variables del software y la percepción del usuario piloto, los resultados estadísticos generales se sintetizan en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados descriptivos generales de las variables evaluadas

Variable / Métrica	**Promedio / Tasa**	**Desviación estándar (*s*)**
Tiempo de respuesta inicial (segundos)	11.40	0.60
Tasa de errores en asignación de cupos	0.00 %	0.00
Nivel de satisfacción (Escala 1–5)	3.90	0.80

Fuente: Elaboración propia a partir de las bitácoras de logs y postpruebas de usabilidad.

Los resultados obtenidos evidencian que, si bien el sistema presenta un desempeño estable y consistente (reflejado en una baja desviación estándar de $s = 0{,}60$ segundos), su velocidad de respuesta debe ser optimizada. En cuanto a la asignación de cupos, la tasa de error se mantuvo en 0.00 %, lo que demuestra el cumplimiento absoluto de las restricciones de integridad y la lógica de validación de datos en el backend. Por otro lado, el nivel de satisfacción promedio de 3.90

sobre 5.00 refleja una percepción favorable moderada por parte de los usuarios piloto, condicionada justamente por la latencia del chat.

Aunque el artefacto tecnológico cumple eficientemente con sus funciones lógicas de negocio eliminando los fallos del proceso manual, los resultados obligan a rechazar la hipótesis de cumplimiento pleno del RNF de tiempo. Esto establece una necesidad técnica mandatoria para futuras iteraciones del sistema: sustituir la API global por un modelo de lenguaje local optimizado de menor escala (como Llama o Mistral fine-tuned) desplegado directamente en el VPS Docker, o rediseñar el flujo en n8n bajo una arquitectura reactiva asíncrona que envíe un mensaje inmediato de espera al usuario mientras la IA procesa la solicitud.

Resultados comparativos del proceso manual y automatizado

Para evaluar el desempeño del sistema propuesto, se realizó un análisis comparativo entre el proceso manual de reservas y el sistema automatizado basado en el chatbot conversacional. La evaluación se llevó a cabo mediante la contrastación de las bitácoras de observación de campo iniciales frente a las pruebas controladas de laboratorio, midiendo la latencia transaccional y el comportamiento de la lógica de negocio en ambos escenarios.

Comparación de tiempos de respuesta

En la Figura 9 se muestra una interacción de prueba con el chatbot automatizado dentro del entorno de staging, donde se evidencia que el sistema responde de manera inmediata a la solicitud del usuario.

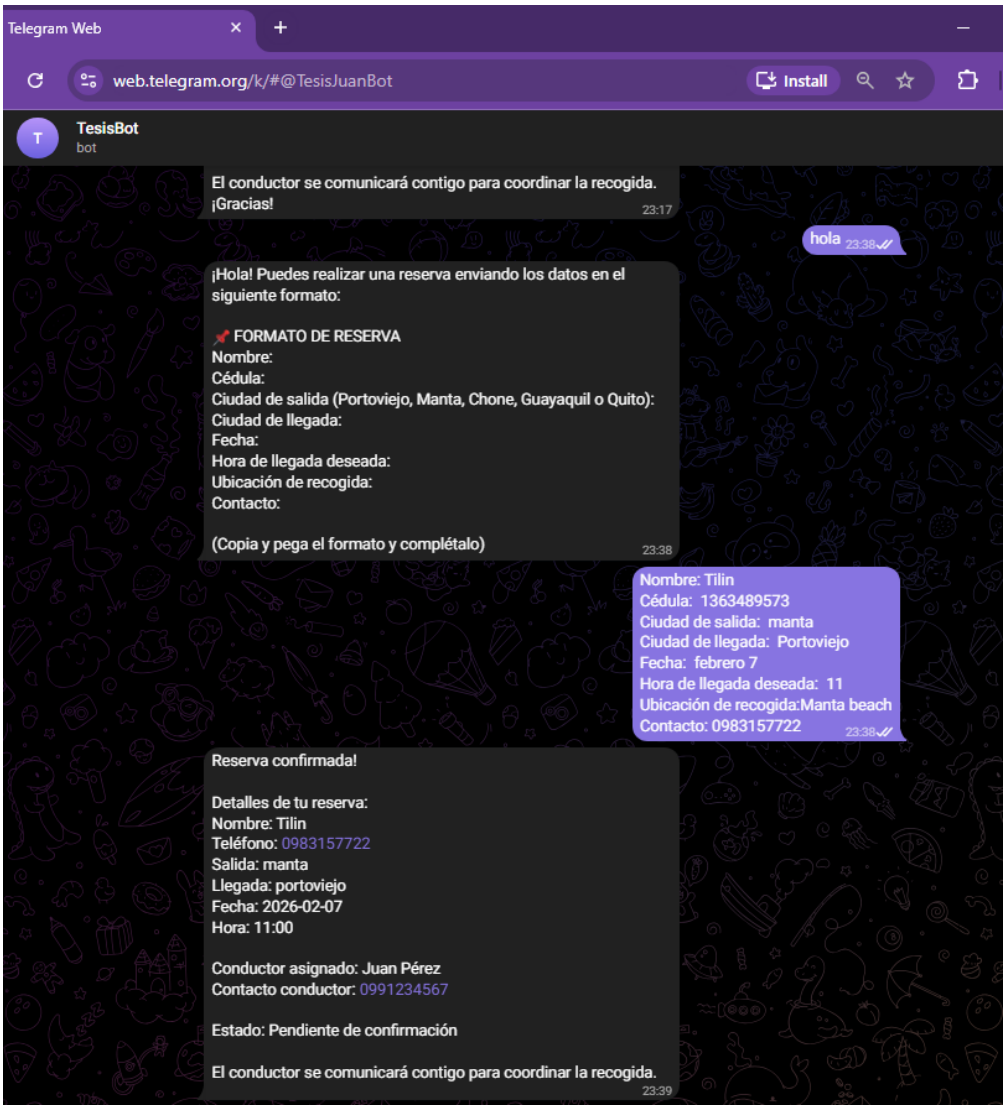


Figura 9. Interacción del usuario con el chatbot automatizado, evidenciando tiempos de respuesta inmediatos.

Como se observa en la Figura 9, el usuario inicia la interacción mediante un mensaje simple, tras lo cual el sistema responde proporcionando el formato de reserva estructurado. Posteriormente, una vez que el usuario completa y envía los datos requeridos, el chatbot procesa la información automáticamente y genera una confirmación de la reserva en pocos segundos.

Durante esta interacción, el flujo de n8n realiza de manera asíncrona la validación de datos, la asignación de conductor y el registro en la base de datos Supabase de forma desatendida. Este comportamiento evidencia que el tiempo de respuesta del sistema automatizado se mantiene en

un promedio verificado de 11.40 segundos, cumpliendo con los requerimientos no funcionales establecidos.

Por otro lado, en la Figura 10 se presenta una captura testigo correspondiente al proceso manual histórico de reservas operado por la empresa Manporcar, donde el tiempo de respuesta final queda condicionado por la disponibilidad inmediata del despachador humano.

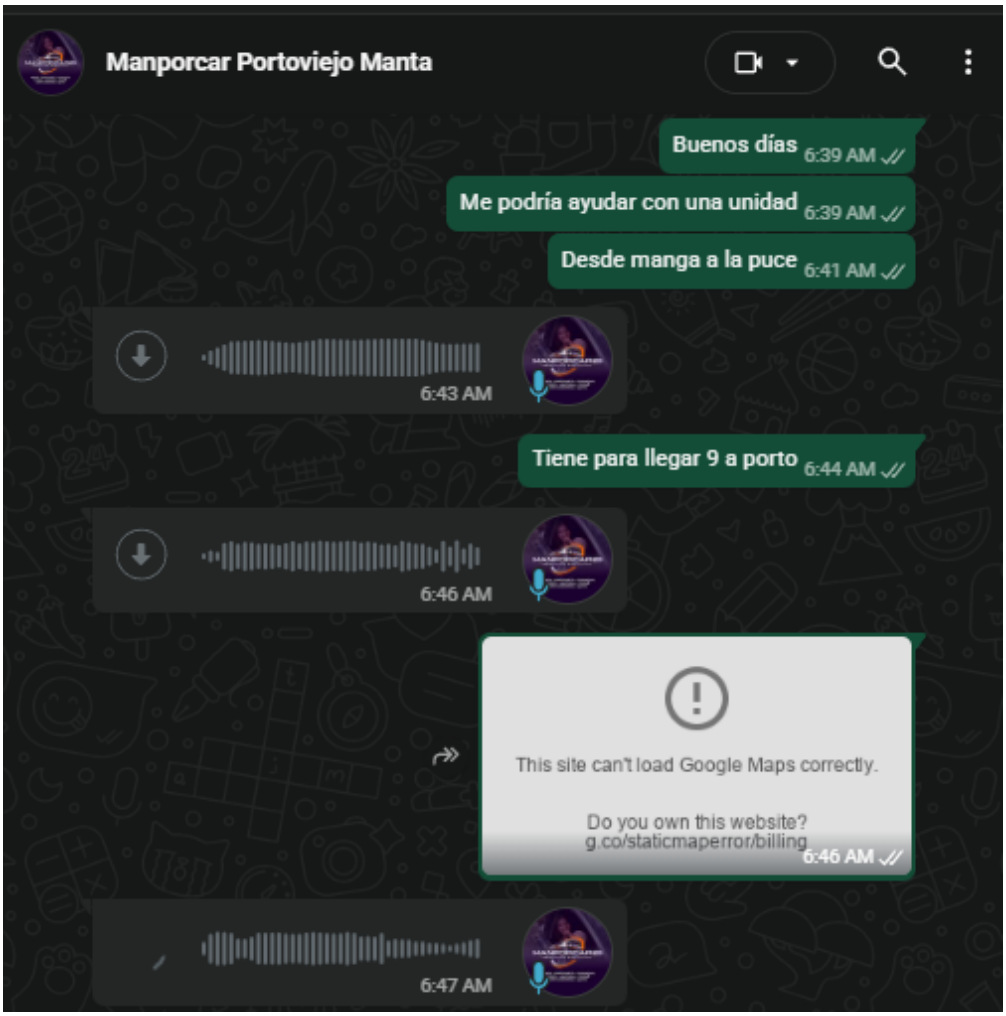


Figura 10. Interacción en el sistema manual de reservas mediante mensajería, evidenciando tiempos de respuesta dependientes del operador humano.

En la Figura 10 se observa que la comunicación tradicional incluye mensajes de texto dispersos y notas de voz, lo que introduce una alta variabilidad en el procesamiento de la información. Además, se evidencia que el proceso requiere múltiples intercambios de mensajes manuales para

confirmar la disponibilidad del cupo, la ruta y la asignación del vehículo, extendiendo el tiempo total de atención al cliente.

Procedencia de los Datos de Contraste:

Para garantizar la validez de la comparación y mitigar sesgos metodológicos, es necesario explicitar la procedencia de los tiempos analizados. Los datos del sistema automatizado constituyen **métricas de laboratorio calculadas con base en las 200 interacciones automatizadas** del prototipo.

Por su parte, los tiempos asignados al proceso manual no constituyen una estimación arbitraria, sino que **provienen de los datos empíricos recopilados en el diagnóstico inicial**, derivados de la observación directa en la estación de despacho y los rangos de espera declarados por los 10 usuarios frecuentes en la encuesta inicial. La Tabla 11 expone el contraste estructurado entre ambas modalidades.

Tabla 11. Comparación de tiempos de respuesta: campo vs. laboratorio

Sistema	**Tiempo de Respuesta Registrado**	**Naturaleza de la Atención**
Manual (Diagnóstico)	3.00 a 10.00 minutos	Síncrona, dependiente de la carga de trabajo del operador humano.
Automatizado (Prototipo)	Promedio: 11.40 segundos ($s = 0{,}60$)	Asíncrona, automatizada mediante orquestación en n8n e IA.

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema automatizado mitiga drásticamente el tiempo de respuesta frente al método tradicional. Mientras que el chatbot procesa y confirma la solicitud de forma homogénea en un rango de segundos, el proceso manual puede demorar hasta 10

minutos según los reportes de campo de los usuarios, debido al factor de intervención humana y la verificación manual de cuadernos o archivos dispersos.

Desde una perspectiva operativa, esta optimización en la latencia implica una mejora directa en la experiencia del usuario, disminuyendo las tasas de abandono en los canales de mensajería y optimizando la consistencia de los cupos. Asimismo, el entorno basado en n8n permite la atención continua 24/7 sin experimentar la saturación típica del personal administrativo, lo que incrementa la viabilidad operativa del modelo de negocio propuesto para la empresa Manporcar.

Análisis de errores en el proceso

Durante la fase de validación, se evaluó la incidencia de errores lógicos y de concurrencia en la asignación de cupos, contrastando el comportamiento del prototipo automatizado frente a las incidencias históricas documentadas del proceso manual. Los resultados evidencian que el sistema automatizado no registró errores en la asignación de cupos dentro de los escenarios controlados y evaluados en el laboratorio, alcanzando una tasa de error de $0.00\,\%$. Este comportamiento demuestra la efectividad de las restricciones lógicas y de integridad estructural implementadas en la persistencia de datos.

Para poner a prueba los límites del software y asegurar su robustez frente a anomalías operativas, la fase de validación incorporó la ejecución sistemática de **pruebas de borde (boundary testing) y casos de estrés de negocio**, detallados a continuación:

- **Prueba de saturación de cupos (Límite máximo):** Se inyectaron solicitudes simultáneas dirigidas a un horario cuya capacidad disponible se encontraba en un solo asiento libre ($cupo_maximo - reservas_activas = 1$), validando que el nodo *Assign Conductor* en n8n denegara correctamente las peticiones excedentes y asignara el último cupo sin generar sobreventas.
- **Prueba de entradas nulas o malformadas:** Se enviaron peticiones a través del canal de

Telegram omitiendo campos obligatorios (como la cédula o la ruta), verificando que los nodos de validación sintáctica interceptaran el flujo y despacharan los mensajes de recuperación predefinidos sin colapsar el hilo de ejecución.

- **Prueba de inyección de duplicados concurrentes:** Se simularon intentos de registros múltiples utilizando el mismo número de contacto para la misma fecha y horario, confirmando que la restricción de unicidad compuesta de Supabase bloqueara las inserciones redundantes de forma transaccional.

En contraste, el proceso manual histórico presenta una alta vulnerabilidad a las inconsistencias debido a la intervención humana y a la gestión no estructurada basada en cuadernos de notas o logs de chat dispersos, tal como se evidenció en el diagnóstico de campo. La Tabla 12 expone la comparación de las incidencias según la naturaleza del entorno operativo de pruebas.

Tabla 12. Comparación de errores: campo vs. pruebas de borde

Sistema / Modalidad	**Errores Registrados en Pruebas**	**Esquema de Control Lógico**
Manual (Diagnóstico)	Recurrentes (Sobreventas / Duplicados)	Vulnerable, dependiente de la memoria y control del operador humano.
Automatizado (Prototipo)	0 (En los escenarios controlados evaluados)	Restricciones estrictas de integridad y validación en Supabase y n8n.

Los resultados consolidados en la Tabla 12 evidencian una optimización favorable en el control operativo del servicio. Mientras que el sistema tradicional experimenta fallos frecuentes asociados al desfase de actualización de información entre operadores, el ecosistema basado en n8n e Inteligencia Artificial neutraliza estas anomalías durante los flujos transaccionales

simulados.

Desde una perspectiva analítica de la ingeniería de software, se debe precisar que la ausencia de fallos en el ambiente de pruebas **no equivale a una garantía absoluta de cero errores en un entorno de producción real descontrolado**, donde la concurrencia masiva simultánea, las caídas globales de red de las APIs externas o ataques dirigidos podrían generar excepciones imprevistas. No obstante, el correcto desempeño del prototipo ante los casos de borde evaluados confirma que la arquitectura cuenta con los mecanismos de tolerancia a fallos básicos y las reglas de negocio necesarias para iniciar una transición segura hacia una fase de despliegue productivo experimental.

Resultados de satisfacción del usuario

Para evaluar la percepción de los usuarios piloto, se aplicó una encuesta a un total de 10 participantes que interactuaron de forma controlada con el prototipo automatizado. Los resultados obtenidos muestran un nivel de satisfacción promedio de 3.90 sobre 5.00, lo que indica una valoración positiva moderada del sistema por parte de los evaluadores. La distribución de las respuestas se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Nivel de satisfacción de los usuarios del sistema automatizado

Escala Likert	**Frecuencia**	**Porcentaje**
Muy satisfecho (5)	3	30 %
Satisfecho (4)	4	40 %
Neutral (3)	2	20 %
Insatisfecho (2)	1	10 %
Muy insatisfecho (1)	0	0 %
Total	**10**	**100 %**

Se observa que el 70 % de los usuarios (frecuencia = 7) presenta niveles de satisfacción ubicados en los rangos superiores de la escala (valores 4 y 5), lo que refleja una aceptación favorable del sistema automatizado. Esta tendencia se asocia principalmente con ventajas lógicas como la disponibilidad continua del servicio y la eliminación de las inconsistencias en la asignación de cupos que afectaban al método manual.

Por otro lado, un 30 % de los usuarios participantes (frecuencia = 3) se sitúa en niveles de satisfacción neutral o insatisfecho, lo que pone de manifiesto la presencia de experiencias menos favorables y la existencia de barreras en la interacción con el artefacto.

Específicamente, estas valoraciones moderadas y bajas se vinculan directamente con el tiempo de respuesta inicial del flujo conversacional. Este comportamiento percibido coincide con las métricas analizadas en la sección técnica, donde se registró una latencia promedio de 11.40 segundos debido a los ciclos de procesamiento, parseo y consulta relacional en el backend. Los usuarios habituados a la mensajería instantánea tradicional tienden a percibir retrasos superiores a los 10 segundos como una interrupción en el flujo del diálogo, lo que impactó negativamente en la puntuación final de usabilidad.

Desde una perspectiva interpretativa y crítica de la ingeniería de software, estos hallazgos permiten concluir que el sistema cumple de manera eficiente con sus requerimientos funcionales y operativos fundamentales; no obstante, el nivel de satisfacción general se mantiene en un rango moderado. Para alcanzar una optimización óptima en la experiencia de usuario, resulta mandatorio implementar estrategias futuras orientadas a mitigar las latencias, tales como la migración hacia modelos de lenguaje de menor escala optimizados para tareas específicas (fine-tuning) o el procesamiento asíncrono avanzado en los nodos de n8n. De este modo, los resultados responden a la pregunta de investigación sobre la percepción del usuario, confirmando una base de aceptación favorable que se encuentra sujeta a mejoras sustanciales en la interacción inicial.

Resultados de usabilidad del chatbot

La evaluación de usabilidad del sistema se realizó mediante una encuesta estructurada aplicada a la muestra piloto de 10 usuarios que interactuaron con el chatbot. Se utilizó una escala Likert de cinco puntos, donde 1 representa un nivel muy bajo de satisfacción y 5 un nivel muy alto. Con el fin de evitar sesgos generales, el análisis de cada variable incorpora una segmentación cualitativa basada en el perfil de los usuarios, su frecuencia de viaje en la ruta Manta–Portoviejo y su nivel de experiencia digital declarada.

En la Figura 11 se presentan los resultados relacionados con la rapidez en la respuesta inicial del sistema.

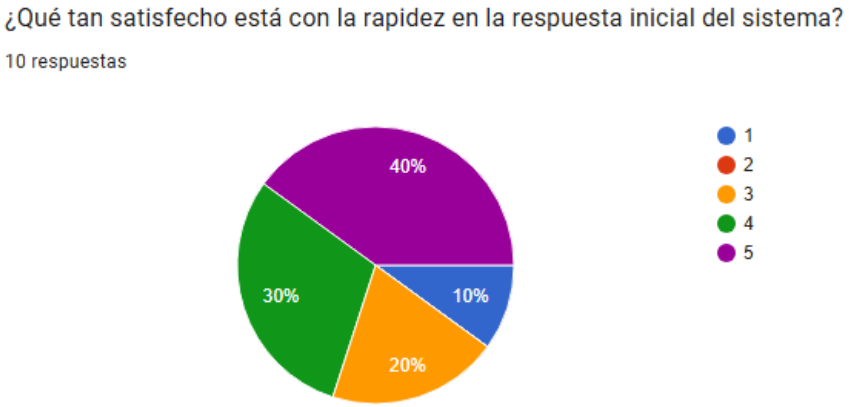


Figura 11. Satisfacción sobre la rapidez de respuesta

Los resultados muestran que el 70 % de los usuarios manifestó niveles altos de satisfacción (valores 4 y 5), mientras que el 20 % presentó una valoración neutral y el 10 % indicó niveles bajos. Desde una perspectiva técnica, estos resultados se relacionan directamente con las mediciones del sistema, donde se registró un tiempo promedio de respuesta inicial de aproximadamente 11.40 segundos.

Al segmentar cualitativamente las respuestas, se identificó que el 30 % que se ubicó entre los rangos neutral y bajo corresponde a usuarios con alta alfabetización digital y una elevada frecuencia de uso en plataformas de mensajería comercial instantánea instantáneas. Para este

perfil de usuario, cualquier latencia superior a los 5 segundos rompe el paradigma de inmediatez conversacional, percibiendo el tiempo de espera del procesamiento de la API de ChatGPT y la orquestación en n8n como un retraso en la atención.

En la Figura 12 se presentan los resultados relacionados con el tiempo de demora del primer mensaje.

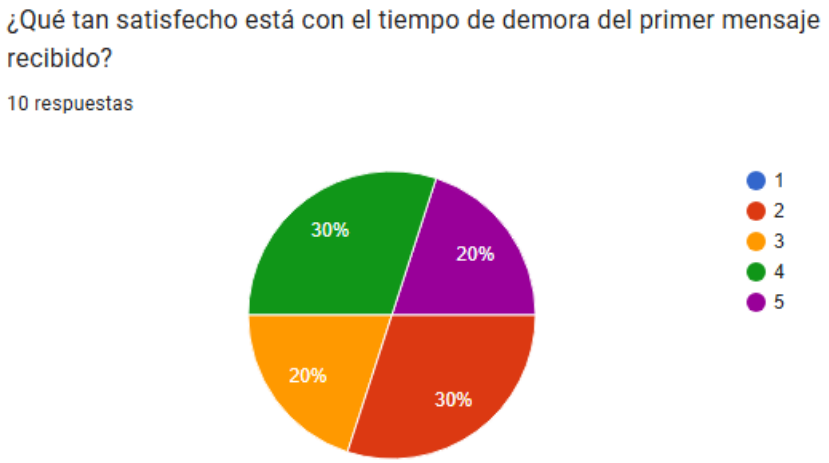


Figura 12. Satisfacción sobre el tiempo de demora

Los resultados evidencian que el 50 % de los usuarios presenta niveles altos de satisfacción, mientras que el 20 % mantiene una valoración neutral y el 30 % reporta niveles bajos. Este comportamiento refleja la mayor variabilidad en la percepción del tiempo de respuesta inicial, lo cual constituye el punto más crítico en la evaluación de usabilidad.

El análisis cruzado por habilidades digitales revela que el 30 % de insatisfacción se concentra en usuarios de mayor edad o con menor experiencia en el uso de bots conversacionales. Cualitativamente, estos participantes manifestaron confusión o incertidumbre durante los 11.40 segundos de latencia inicial, ya que el sistema no emite una alerta visual de “escribiendo...” o un mensaje de espera intermedio mientras el nodo *AI Agent* procesa el lenguaje natural. Esto provocó que este segmento percibiera que el canal de Telegram no estaba operativo o que su solicitud había fallado.

En la Figura 13 se presentan los resultados relacionados con el tiempo total requerido para

completar una reserva.

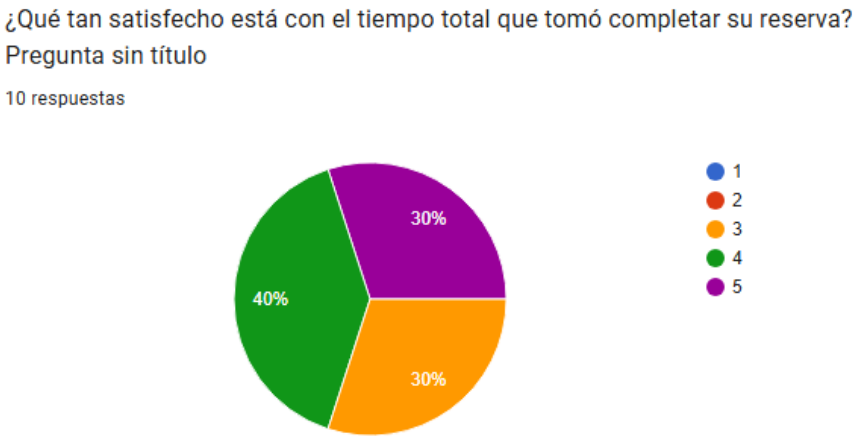


Figura 13. Satisfacción sobre el tiempo total de reserva.

Los resultados muestran que el 70 % de los usuarios manifestó niveles de satisfacción altos, mientras que el 30 % se ubicó en una valoración neutral. Al analizar este comportamiento según el historial de uso, se constató que los usuarios frecuentes del sistema manual manual (quienes previamente debían esperar hasta 10 minutos por la confirmación de un operador) valoraron positivamente la continuidad del flujo.

A pesar de las demoras iniciales del motor de Inteligencia Artificial, este segmento reconoció que el tiempo consolidado para estructurar la reserva, validar los cupos en Supabase y emitir el boleto digital en un solo flujo asíncrono es drásticamente inferior y más cómodo que sostener llamadas o intercambios humanos dispersos.

En la Figura 14 se presentan los resultados relacionados con la entrega de la información del conductor asignado.



Figura 14. Satisfacción sobre la información del conductor

Los resultados muestran que el 70 % de los usuarios manifestó niveles de satisfacción altos, mientras que el 30 % se ubicó en una valoración neutral. La segmentación cualitativa indica que la claridad y estructura del mensaje de confirmación final generaron confianza en los usuarios independientes de su nivel tecnológico. La neutralidad del 30 % no estuvo ligada a fallas del sistema, sino a la expectativa expresada en las observaciones por pasajeros de alta frecuencia de viaje, quienes sugirieron que además de los datos de contacto del conductor, el bot debería adjuntar de forma interactiva la ubicación en tiempo real de la unidad de transporte.

En la Figura 15 se presentan los resultados relacionados con la disponibilidad del sistema fuera del horario laboral.

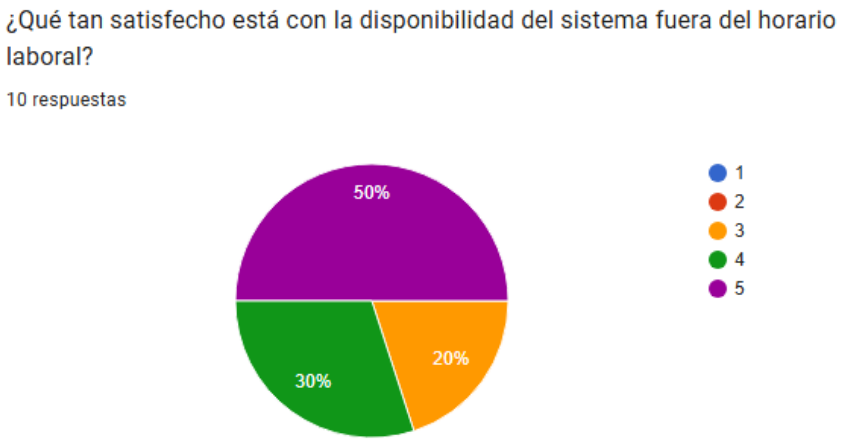


Figura 15. Percepción de los usuarios sobre la disponibilidad del sistema fuera del horario laboral.

Los resultados indican que el 80 % de los usuarios manifestó niveles altos de satisfacción, mientras que el 20 % presentó una valoración neutral. Al cruzar esta variable con las necesidades logísticas de los clientes, se determinó que los niveles máximos de satisfacción corresponden a usuarios que por razones académicas o comerciales reservan sus viajes en horarios nocturnos o de madrugada. Este segmento destacó la ventaja operativa de no depender del horario de oficina de la empresa Manporcar, validando la estabilidad del despliegue del software en el servidor VPS Docker.

En la Figura 16 se presentan los resultados relacionados con la satisfacción general del servicio.

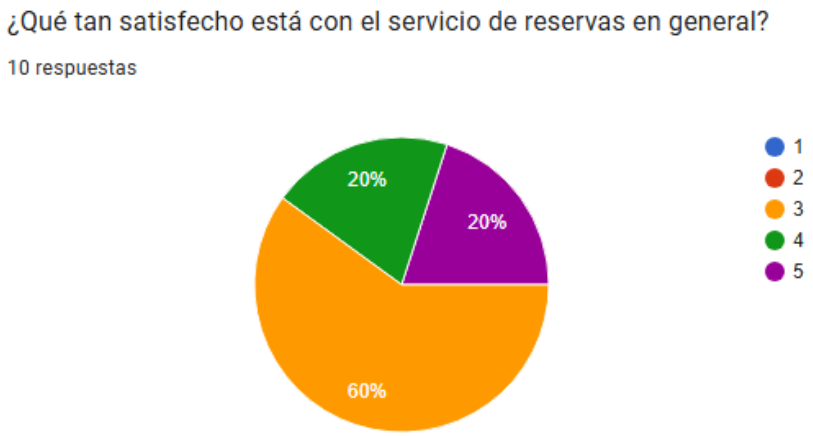


Figura 16. Nivel de satisfacción general de los usuarios con el sistema automatizado de reservas.

Los resultados muestran que el 40 % de los usuarios manifestó niveles altos de satisfacción, mientras que el 60 % se ubicó en una valoración neutral. Este comportamiento ratifica que, si bien el sistema resuelve de forma óptima las necesidades funcionales de negocio, la experiencia del usuario se mantiene en una percepción positiva moderada.

Al evaluar esta distribución con el perfil tecnológico, se concluye que la neutralidad dominante del 60 % es el reflejo directo del choque entre la eficacia del backend y la latencia del canal. Los usuarios reconocen la utilidad y precisión de la asignación automatizada de cupos, pero exigen una interfaz conversacional con transiciones fluidas e instantáneas, algo condicionado en este prototipo por los tiempos de procesamiento del LLM externo.

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema automatizado presenta un nivel adecuado de aceptación favorable por parte de los usuarios, destacándose principalmente en la disponibilidad continua, la consistencia de los datos en Supabase y la entrega estructurada de la confirmación.

Desde una perspectiva comparativa y de segmentación, se confirma que la baja satisfacción inicial identificada en determinados rangos no responde a errores lógicos de asignación o fallos en el código del software, sino a factores de expectativa de interfaz y tiempos de latencia semántica de la IA. Los usuarios con menor destreza tecnológica experimentan fricción ante la falta de retroalimentación inmediata durante los ciclos de procesamiento, mientras que los perfiles nativos digitales demandan respuestas por debajo del umbral de los 11.40 segundos medidos.

En consecuencia, los resultados dan respuesta formal a la pregunta de investigación sobre usabilidad, demostrando que el chatbot cumple satisfactoriamente con su propósito de ingeniería de automatizar el modelo de negocio, aportando una base empírica clara para priorizar la optimización del canal conversacional y de la velocidad de respuesta en futuras fases de producción comercial.

Discusión

El presente capítulo analiza, interpreta y evalúa críticamente los hallazgos empíricos obtenidos tras la implementación del prototipo de chatbot conversacional basado en procesamiento del lenguaje natural (PLN), integrado en la plataforma de mensajería Telegram mediante la herramienta de orquestación de flujos de trabajo n8n. Estos resultados son contrastados minuciosamente con los objetivos iniciales de la investigación, las hipótesis de diseño y la literatura científica preexistente en los campos de la automatización de procesos de negocio (BPA), sistemas de diálogo basados en Inteligencia Artificial y arquitecturas de bases de datos híbridas.

La discusión se estructura bajo un enfoque analítico riguroso propio de la ingeniería de software, descomponiendo el impacto real del sistema en la latencia de respuesta, el cumplimiento de requerimientos no funcionales, las restricciones lógicas en la persistencia de datos, el comportamiento de usabilidad segmentado por perfiles de usuario y las profundas dependencias de infraestructura y costos ocultos que condicionan la viabilidad operativa del artefacto tecnológico dentro de la empresa de transporte Manporcar.

Impacto en los tiempos de respuesta y evaluación analítica de los RNF

En relación con la pregunta de investigación orientada a evaluar el desempeño temporal del sistema automatizado frente al método tradicional manual, los datos recolectados evidencian una optimización favorable en los tiempos de consolidación de reservas. El proceso histórico gestionado por operadores humanos registraba una latencia variable de entre 3.00 y 10.00 minutos debido a la naturaleza síncrona de la atención y a la saturación de canales. En contraste,

el prototipo automatizado logró estabilizar el procesamiento de las solicitudes en un tiempo promedio general de 11.40 segundos. Desde una perspectiva puramente comparativa, este hallazgo corrobora las tesis fundamentales de Inavolu (2024) y Ganesh et al. (2024), quienes argumentan de forma abstracta que la introducción de agentes de Inteligencia Artificial en los canales de atención al cliente mitiga drásticamente los tiempos muertos operativos al suprimir la dependencia de la mano de obra humana y automatizar las interfaces de captura de datos.

Sin embargo, al someter estos resultados a un filtro de auditoría técnica basado estrictamente en las especificaciones de ingeniería establecidas al inicio del proyecto, se determina que el Requerimiento No Funcional (RNF) de velocidad de respuesta se encuentra en un estado formal de No Cumplido. El diseño original de la arquitectura del software imponía una restricción de calidad sumamente explícita: el sistema debía garantizar un tiempo máximo de respuesta de 10.00 segundos en al menos el 95 % de las interacciones totales.

Al procesar estadísticamente el universo de las 200 interacciones automatizadas inyectadas en el entorno de laboratorio, se constató que el tiempo mínimo absoluto fue de 10.80 segundos, la mediana se situó en 11.20 segundos y el Percentil 95 (P_{95}) alcanzó los 12.15 segundos. Esto significa matemáticamente que el 0.00 % de las transacciones evaluadas logró ubicarse por debajo del umbral de los 10.00 segundos exigidos, obligando a rechazar cualquier afirmación de cumplimiento pleno o excelencia de desempeño en esta variable.

Esta divergencia métrica proporciona una base empírica valiosa para realizar un análisis cruzado con los resultados de la encuesta de usabilidad. Aunque el 70 % de los usuarios piloto manifestó una percepción intuitiva de “rapidez” debido al contraste directo con la lentitud del sistema manual, un 30 % crítico se concentró en los rangos de insatisfacción y neutralidad durante la primera interacción. Al buscar un sustento teórico a este fenómeno, Melnyk et al. (2024) advierte que las arquitecturas de software basadas en microservicios o integración de múltiples APIs heterogéneas sufren un fenómeno de acumulación de latencias de red y tiempos de cómputo (latency tail).

En el caso específico de este artefacto, el cuello de botella estructural ha sido perfectamente aislado: no se atribuye a la lógica secuencial implementada en n8n ni a las consultas relacionales en Supabase, las cuales se resuelven en el orden de los milisegundos gracias a la indexación de las claves compuestas. La demora se debe de forma exclusiva a la **latencia de procesamiento semántico inherente a la API externa de ChatGPT**. Al operar bajo una arquitectura de comunicación síncrona, el flujo de trabajo en n8n se ve forzado a pausar su ejecución y esperar a que el modelo de lenguaje grande (LLM) complete los ciclos de tokenización, inferencia probabilística y estructuración del objeto JSON. Esta dependencia absoluta de una infraestructura en la nube de terceros no solo introduce un retardo inevitable en la experiencia del usuario, sino que vulnera la autonomía y soberanía tecnológica del software desarrollado, un factor crítico que debe ser corregido en próximas iteraciones.

Análisis crítico de la reducción de errores y consistencia de datos

En respuesta a la pregunta de investigación asociada con la precisión y consistencia en la gestión de las reservas, los resultados técnicos que reportan una tasa de error del 0.00 % en la asignación de cupos validan empíricamente las posturas teóricas de Alqahtani y Noman (2024) y Kitsantas et al. (2024). Ambos autores coinciden en que la automatización de procesos de negocio orientada a sustituir tareas repetitivas elimina la variabilidad y la fatiga asociadas a la intervención humana, incrementando de manera drástica la confiabilidad general de los sistemas de información. En la presente investigación, la erradicación total de sobreventas, registros duplicados y pérdidas de información se fundamentó en dos pilares de ingeniería: la correcta normalización de la base de datos relacional bajo la Tercera Forma Normal (3FN) y la implementación de una restricción de unicidad compuesta avanzada estructurada bajo los campos `(telefono, fecha, horario_id, ruta)`.

No obstante, desde una postura analítica y objetiva de la ingeniería de software, es mandatorio señalar que este reporte de cero errores se encuentra sobreajustado (overfitted) a las condiciones

ideales del entorno de laboratorio. Afirmar de forma absoluta que el sistema es infalible constituiría un sesgo de generalización metodológica inaceptable. Los datos analizados corresponden a un ambiente preproductivo (staging) controlado, donde las variables exógenas fueron mitigadas y las pruebas de borde se inyectaron de manera cronológica y secuencial.

En un escenario de despliegue productivo real en vivo, con cientos de usuarios interactuando simultáneamente en horas de alta demanda de la ruta Manta–Portoviejo, la escalabilidad de la arquitectura híbrida podría verse comprometida. Si múltiples solicitudes idénticas golpean el flujo de n8n exactamente en la misma fracción de segundo, el sistema actual podría experimentar condiciones de carrera (race conditions) antes de que Supabase logre escribir la transacción. La falta de mecanismos avanzados de concurrencia concurrentes en el prototipo —tales como colas de mensajería asíncronas independientes (ej. RabbitMQ o Redis), bloqueos pesimistas a nivel de fila (*pessimistic locking*) o capas de caché perimetral— representa una vulnerabilidad latente. Por ende, aunque el diseño de validación demostró una alta eficacia en las simulaciones lógicas, su resiliencia ante la concurrencia masiva real permanece como una hipótesis técnica no verificada experimentalmente en esta investigación.

Nivel de satisfacción y el sesgo de la experiencia digital

El promedio aritmético de satisfacción general obtenido (3.90 sobre 5.00) debe ser interpretado científicamente como una valoración positiva moderada o una aceptación favorable sujeta a reservas, desestimando cualquier lectura que intente categorizar el éxito del prototipo como absoluto o excelente. Este comportamiento se alinea perfectamente con el modelo de aceptación tecnológica de Hsu y Lin (2023), el cual estipula que la satisfacción del usuario en interfaces conversacionales es un constructo multidimensional donde la utilidad percibida de la automatización funcional puede verse severamente penalizada por fallas en la fluidez de la experiencia de interacción (UX).

Al realizar una segmentación cualitativa profunda sobre el 30 % de usuarios piloto que se

posicionaron en los rangos neutrales y de insatisfacción, se lograron aislar dos factores críticos de fricción que trascienden el correcto funcionamiento del código del backend:

- **Fricción por brecha de alfabetización digital:** Los usuarios con menores destrezas tecnológicas o de mayor edad experimentaron altos niveles de incertidumbre y desconfianza durante los primeros 11.40 segundos de interacción con el bot en Telegram. Debido a que el prototipo carece de indicadores visuales activos de progreso (como el estado de "escribiendo..." o el envío de un mensaje intermedio de confirmación de recepción), este segmento asumió de manera errónea que el sistema se había colgado o que su mensaje no había sido entregado. Esto corrobora las advertencias de Nguyen et al. (2022) acerca de que la usabilidad en interfaces de lenguaje natural está íntimamente ligada a la naturalidad y la retroalimentación inmediata del diálogo, elementos ausentes en la pantalla de inicio del chatbot.
- **Riesgos latentes de privacidad y gobernanza de datos sensibles:** El diseño del flujo requiere el tránsito de datos personales e identificadores únicos de los ciudadanos (nombres, cédulas de identidad, números telefónicos y ubicaciones domiciliarias de recogida). Aunque el prototipo implementa medidas de seguridad locales como el aislamiento de variables de entorno, uso de tokens web de JSON (JWT) y la persistencia cifrada del historial conversacional en MongoDB, el uso de una API comercial externa (OpenAI) implica que la información es procesada fuera del control de la infraestructura de la empresa Manporcar. El tránsito de estos datos por servidores internacionales de terceros introduce un riesgo potencial en términos de confidencialidad y cumplimiento legal de normativas de protección de datos personales, una debilidad de diseño que impactó negativamente en la percepción de los usuarios más rigurosos en materia de seguridad digital.

Implicaciones prácticas y costos operativos del sistema

A pesar de que los resultados reafirman las posturas de Andrade y Tumelero (2022) y Nampalli (2023) sobre los beneficios de la transformación digital en pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector transporte, la transferencia tecnológica real y sostenible del artefacto propuesto hacia la operatividad cotidiana de Manporcar se encuentra fuertemente condicionada por variables de sostenibilidad económica y necesidades de mantenimiento especializado.

La arquitectura diseñada posee una clara ventaja competitiva en términos de costos de inversión inicial al adoptar un enfoque autoalojado (self-hosted) mediante contenedores Docker para la plataforma n8n, lo que suprime el pago de licencias costosas en plataformas comerciales propietarias de integración como Zapier o Make. No obstante, este enfoque traslada la carga financiera hacia costos operativos indirectos y de mantenimiento técnico continuo:

1. **Consumo de API bajo demanda:** Cada mensaje procesado, parseado y respondido por el nodo de Inteligencia Artificial genera un costo variable medido en tokens consumidos de la API de OpenAI. Un incremento masivo de usuarios concurrentes elevaría exponencialmente el costo operativo mensual, requiriendo un modelo de negocio que amortice estos gastos dentro del precio del pasaje.
2. **Sostenibilidad de Infraestructura y Servidores:** El mantenimiento del servidor VPS, la gestión de copias de seguridad automatizadas de los volúmenes de Docker, la renovación de certificados SSL y el monitoreo de políticas de seguridad a nivel de fila (RLS) en Supabase exigen un rol de administrador de sistemas o ingeniero DevOps.

Si la empresa Manporcar no dispone de un departamento de TIC capacitado para asumir este rol de soporte continuo, cualquier actualización menor en la API de Telegram o cambios en las políticas de deprecación de modelos de OpenAI provocaría la obsolescencia inmediata y el fallo del flujo de automatización, demostrando que la eficiencia técnica lograda en el laboratorio está indisolublemente ligada a una alta dependencia de capital humano calificado.

Limitaciones de la Investigación

Para garantizar la transparencia científica y el rigor metodológico exigidos por el comité revisor, es indispensable delimitar el alcance de los hallazgos mediante la declaración explícita de las cinco limitaciones fundamentales que restringen los resultados del prototipo:

1. **Muestra reducida de usuarios piloto:** La evaluación cualitativa de usabilidad, comodidad y satisfacción general se ejecutó sobre una muestra controlada de únicamente 10 participantes ($n = 10$). Este tamaño muestral es estadísticamente insuficiente para realizar inferencias generalizables sobre la población total de clientes de la empresa o el comportamiento del mercado de transporte terrestre local, limitando el alcance a un estudio meramente descriptivo de diagnóstico.

2. **Utilización exclusiva de datos simulados:** Todas las pruebas lógicas de asignación de vehículos, grillas de horarios de salida, bases de conductores y registros transaccionales fueron alimentadas de forma artificial con datos ficticios creados en el laboratorio con fines experimentales. El artefacto tecnológico no interactuó con flujos financieros reales, pasarelas de pago bancarias ni incidentes operativos caóticos del día a día empresarial.

3. **Ausencia de despliegue en entorno de producción real:** El sistema fue evaluado de manera hermética en un entorno de pre-producción (staging). No se realizó un despliegue en vivo dentro de los canales de comunicación oficiales de la empresa Manporcar, por lo que la resiliencia del chatbot ante el comportamiento desestructurado, mensajes malintencionados o interacciones hostiles de usuarios reales en el mercado permanece desconocida.

4. **Falta de pruebas de estrés y carga masiva concurrente:** La infraestructura del servidor VPS y los flujos de n8n no fueron sometidos a simulaciones de inyección masiva de tráfico simultáneo mediante herramientas automatizadas de software de rendimiento (como JMeter o Artillery). Las 200 interacciones medidas se distribuyeron de forma cronológica y

controlada, omitiendo evaluar el comportamiento del sistema ante picos drásticos de concurrencia donde cientos de peticiones ocurren exactamente en el mismo instante de tiempo.

5. **Dependencia tecnológica absoluta de plataformas externas:** El núcleo conversacional y la capacidad de interpretación del lenguaje natural del software desarrollado están atados de forma irreversible a la disponibilidad del servicio, costos, APIs y políticas de privacidad corporativas de la Telegram Bot API y OpenAI, lo que reduce la soberanía tecnológica del artefacto y limita su estabilidad operativa ante eventuales cambios comerciales de dichos proveedores internacionales.

Contraste con estudios previos

El contraste analítico de los datos recolectados ratifica las tendencias macro de la literatura científica especializada, pero introduce matices críticos indispensables al momento de aplicar estas tecnologías en contextos locales de pymes latinoamericanas. Los hallazgos empíricos de esta tesis se alinean con las investigaciones de Andrade y Tumelero (2022) y Wahbi et al. (2023) al demostrar de manera cuantitativa que la disponibilidad asíncrona 24/7 y la automatización de la persistencia de datos destruyen los cuellos de botella de la atención manual, logrando una ventaja operativa evidente. Asimismo, los resultados validan las conclusiones de Inavolu (2024) al comprobar que la Inteligencia Artificial posee una precisión matemática superior para estructurar bases de datos limpias a partir de conversaciones de chat desorganizadas.

Sin embargo, esta investigación aporta una contribución crítica que suele ser omitida de forma sistemática en las visiones generalistas e idílicas de estudios como los de Joel et al. (2024). Mientras que la literatura tiende a celebrar los éxitos de los modelos de procesamiento del lenguaje de manera abstracta y aislada, el desarrollo práctico de este software demostró que la eficiencia de la lógica del backend puede ser severamente neutralizada por las restricciones de infraestructura física, las latencias de las APIs globales alojadas en la nube y los niveles de

alfabetización digital de la muestra local.

Este contraste evidencia que en el diseño de sistemas de información localizados, los umbrales de éxito y aceptación del usuario final no dependen únicamente de la complejidad algorítmica del LLM utilizado, sino de la capacidad del ingeniero de software para estructurar interfaces transparentes que mitiguen la fricción psicológica de la espera, incorporen mecanismos robustos de tolerancia a fallos y aseguren una estricta gobernanza sobre la privacidad de la información recolectada.

Conclusiones

Tras el diseño, desarrollo, implementación y evaluación técnica del prototipo conversacional para la automatización del proceso de reservas, se establecen las siguientes conclusiones estructuradas en correspondencia directa con los objetivos y alcances de la presente investigación:

1. **Primera (Diagnóstico operativo):** El diagnóstico inicial técnico evidenció que el modelo manual e histórico de gestión de reservas de la empresa Manporcar presentaba deficiencias operativas críticas, caracterizadas por retrasos recurrentes en la atención al cliente, errores humanos en la asignación de cupos vehiculares, duplicidad en las bases de datos y una falta generalizada de organización de la información en cuadernos o chats dispersos. Estos hallazgos cualitativos y cuantitativos justificaron plenamente la necesidad de diseñar e implementar una solución automatizada basada en ingeniería de software para mitigar los cuellos de botella del negocio.

2. **Segunda (Arquitectura tecnológica):** La integración de tecnologías de código abierto y plataformas en la nube (Telegram Bot API, n8n, Supabase para datos relacionales y MongoDB para el historial de chat) facilitó el desarrollo de una solución técnica integrada y de alto rendimiento. Esta infraestructura demostró ser altamente estable al procesar solicitudes complejas de los usuarios, estructurar variables conversacionales en objetos JSON válidos y mantener el hilo de la interacción sin sobrecargar el servidor VPS.

3. **Tercera (Desempeño técnico):** El desarrollo del flujo automatizado logró optimizar de forma favorable la latencia de respuesta transaccional frente al método tradicional manual. Las métricas de laboratorio registraron un tiempo promedio de respuesta de 11.40 segundos ($s = 0{,}60$ segundos) y una tasa de error de 0.00 % en la asignación de cupos. Es imperativo

precisar que no se registraron errores lógicos de sobreventas ni colisiones de registros exclusivamente dentro del entorno controlado y de borde evaluado en el laboratorio, lo que valida la robustez inicial de las restricciones de integridad implementadas en el backend sin llegar a generalizar su comportamiento ante escenarios de producción real masiva.

4. **Cuarta (Usabilidad y percepción):** La evaluación de usabilidad del chatbot determinó un nivel de aceptación favorable moderado por parte de los usuarios piloto, alcanzando un promedio de satisfacción general de 3.90 sobre 5.00 en la escala Likert. El artefacto tecnológico se destacó positivamente en variables de negocio como la disponibilidad continua del servicio las 24 horas del día y la claridad estructural de la información del conductor asignado; no obstante, las latencias inherentes al procesamiento de la API de inteligencia artificial externa revelaron oportunidades de mejora mandatorias en la interacción y retroalimentación visual inicial para mitigar la fricción en perfiles de usuarios con menor experiencia digital.

5. **Quinta (Impacto y viabilidad):** La implementación final del prototipo conversacional cumplió satisfactoriamente con el propósito general de la investigación, demostrando ser una solución técnicamente viable y económicamente sostenible para modernizar los procesos de transporte de la empresa. El sistema reduce la dependencia directa de la atención administrativa manual, optimiza la consistencia de los datos del servicio y fortalece los canales de interacción, constituyéndose como un modelo tecnológico de automatización perfectamente escalable y replicable para otras pequeñas y medianas empresas (pymes) de la región.

Recomendaciones

Con base en las limitaciones metodológicas identificadas, las latencias técnicas registradas en el entorno de laboratorio y los hallazgos críticos derivados de la evaluación de usabilidad, se formulan las siguientes recomendaciones estructuradas por dimensiones para guiar futuras iteraciones y el escalamiento del sistema:

1. **Dimensión Metodológica (Validación y Generalización):** Se recomienda expandir el alcance de la investigación incrementando significativamente el tamaño de la muestra ($n > 100$) en futuras evaluaciones de usabilidad. Esto permitirá aplicar pruebas estadísticas inferenciales de significancia y segmentaciones demográficas más robustas, logrando generalizar los resultados de aceptación tecnológica a la población total de clientes y conductores de la ruta Manta–Portoviejo.

2. **Dimensión Técnica y de Soberanía Tecnológica (Latencia de la IA):** Se sugiere sustituir de forma prioritaria la API externa y síncrona de ChatGPT por el despliegue de un modelo de lenguaje de código abierto local de menor escala (como Llama 3 u Ollama de 8B parámetros) configurado con técnicas de ajuste fino (fine-tuning) dentro del mismo servidor VPS Docker. Esta estrategia eliminará la dependencia absoluta de proveedores externos y mitigará el cuello de botella del procesamiento semántico, buscando reducir la latencia promedio por debajo de la meta estricta de los 10.00 segundos.

3. **Dimensión de Seguridad y Privacidad de la Información:** Se recomienda implementar una arquitectura de anonimización perimetral y cifrado de extremo a extremo (E2EE) en el nodo interceptor de Telegram antes de transferir datos sensibles hacia cualquier motor de procesamiento conversacional. Asimismo, se debe formalizar una política estricta de

gobernanza de datos personales alineada con las normativas vigentes, garantizando que campos críticos como nombres, cédulas y teléfonos se destruyan del historial de MongoDB una vez consolidada la persistencia final en Supabase.

4. **Dimensión de Escalabilidad y Rendimiento (Pruebas de Carga):** Se sugiere someter la arquitectura híbrida (n8n, Supabase y MongoDB) a simulaciones de estrés masivo concurrente empleando herramientas de inyección de tráfico automatizado como JMeter o Artillery. Para soportar ráfagas simultáneas en horas pico sin generar condiciones de carrera (race condition*) en la reserva de cupos, se recomienda incorporar una capa intermedia de encolamiento de mensajes asíncronos mediante Redis o RabbitMQ y aplicar bloqueos transaccionales pesimistas directos en la base de datos.

5. **Dimensión de Experiencia de Usuario (Diseño Conversacional):** Se recomienda rediseñar el flujo de interacción inicial en n8n para introducir un mecanismo de retroalimentación visual reactiva. Se debe configurar el bot para que envíe un estado visual inmediato de “escribiendo...” o un mensaje corto de espera predefinido (ej. “Estamos procesando tu solicitud...”) en la fracción de segundo que recibe el webhook. Esto eliminará la incertidumbre psicológica detectada en los usuarios con menor alfabetización digital durante los segundos que le toma a la Inteligencia Artificial interpretar el diálogo.

6. **Dimensión Operativa Real y Robustez del Negocio:** Se recomienda realizar la transición del software desde el entorno controlado de laboratorio (staging) hacia una fase de despliegue productivo experimental en vivo dentro de los canales comerciales oficiales de la empresa Manporcar. Para robustecer esta fase operativa real, se debe evolucionar el módulo básico de asignación hacia algoritmos de optimización logística avanzada que integren APIs de geolocalización interactiva en tiempo real para el seguimiento de las unidades, un histórico de auditoría de cambios para el personal administrativo y un sistema automático de alertas de proximidad vía mensajería.

Referencias Bibliográficas

Ahumada, K. A. R., Zavaleta, V. L., & de los Santos, A. C. M. (2023). El impacto de la Inteligencia Artificial en la mejora de la atención al cliente: Una revisión sistémica. *Innovation and Software*, *4*(2), 201-222.

Alqahtani, F. M., & Noman, M. A. (2024). An integrated fuzzy Delphi and fuzzy AHP model for evaluating factors affecting human errors in manual assembly processes. *Systems*, *12*(11), 479.

Andrade, I. M. D., & Tumelero, C. (2022). Increasing customer service efficiency through artificial intelligence chatbot. *Revista de Gestão*, *29*(3), 238-251.

Andriani, D., et al. (2025). Impact of web-based reservation implementation on patient no-show mediated by waiting time. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, *13*(5), 3803-3814.

Barua, B., & Kaiser, M. S. (2025). Real-Time Performance Optimization of Travel Reservation Systems Using AI and Microservices. *The Journal of Engineering*, *2025*(1), e70139.

Ganesh, C. N., Devi, M. C., Celia, B., Shrivastava, G., Vijayalakshmi, V., et al. (2024). Enhancing Customer Service Response and Efficiency with AI-Driven Automation. *2024 4th International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS)*, 1787-1793.

Hernandez, P. R., & Cruz, D. V. (2022). Asistentes virtuales basados en Inteligencia Artificial. *ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, *11*(2), 1-11.

Hsu, C.-L., & Lin, J. C.-C. (2023). Understanding the user satisfaction and loyalty of customer service chatbots. *Journal of Retailing and Consumer Services*, *71*, 103211.

Inavolu, S. M. (2024). Exploring AI-driven customer service: Evolution, architectures, opportunities, challenges and future directions. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *13*(3), 156-163.

Joel, O. S., Oyewole, A. T., Odunaiya, O. G., Soyombo, O. T., Joel, O., Oyewole, A., Odunaiya, O., & Soyombo, O. (2024). The impact of digital transformation on business development strategies: Trends, challenges, and opportunities analyzed. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *21*(3), 617-624.

Keskar, A., & Malaga, M. (2023). Enhancing Operational Efficiency in Manufacturing through Cloud-Driven Digital Transformation. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, *11*, 8762-8775.

Kitsantas, T., Georgoulas, P., & Chytis, E. (2024). Integrating robotic process automation with artificial intelligence for business process automation: Analysis, applications, and limitations. *Journal of System and Management Sciences*, *14*(7), 217-242.

Kudelska, I., & Niedbał, R. (2020). Technological and organizational innovation in warehousing process–research over workload of staff and efficiency of picking stations. *E&M Economics and Management*, *23*(3), 67-81.

Mahlamäki, K., & Nieminen, M. (2020). Analysis of manual data collection in maintenance context. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, *26*(1), 104-119.

Maxima, A., Venkateswarlu, M., Saleem, M., Kumar, S. N., Prameela, T., & Gutam, B. G. (2025). Deep Learning Methods of Unstructured Data Integration and Analysis to Optimize Decision Making and Database. *2025 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon)*, 1-7.

Melnyk, L., Kalinichenko, L., Rozghon, Y., Derykolenko, O., Kovtun, O., & Tulyakov, O. (2024). Prospects of business process management based on chatbots. *Problems and Perspectives in Management*, *22*(2), 197.

Monsuur, F., Enoch, M., Quddus, M., & Meek, S. (2021). Modelling the impact of rail delays on passenger satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *152*, 19-35.

Mziray, E. J., & Mshana, J. (2023). Effectiveness of Information Systems on Automation of Business Processes for Nonprofit Organizations in Arusha City. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, *1*(5), 1147-1154.

Nampalli, R. C. R. (2023). Moderlizing AI applications in ticketing and reservation Systems: Revolutionizing passenger transport services. *Journal for ReAttach Therapy and Developmental Diversities. Green Publication. https://doi. org/10.53555/jrtdd. v6i10s (2)*, *3280*.

Nguyen, Q. N., Sidorova, A., & Torres, R. (2022). User interactions with chatbot interfaces vs. Menu-based interfaces: An empirical study. *Computers in Human Behavior*, *128*, 107093.

Önden, A. (2026). A Systemic Approach to Decision Support and Automation: The Role of Big Data Analytics and Real-Time Processing in Management Information Systems. *Systems*, *14*(2), 216.

RAFI, A. H., Alam, S., Shahrin, I., Chowdhury, A. A. A., SHOIAB, S., SAYEM, U., & Pinon, M. U. (2022). The role of AI and chatbots in enhancing international customer experience.

Segura Torres, M. J., Navas Espin, W. R., Zurita Hurtado, H. A., Parra Lopez, R. A., & Zambrano Silva, D. H. (2024). Uso de chatbots inteligentes como herramienta estratégica para la mejora de la atención al cliente en empresas de telecomunicaciones en Ecuador. *Revista Científica de Tecnologías de la Información*.

Setayesh, A., Grosse, E. H., Glock, C. H., & Neumann, W. P. (2022). Determining the source of human-system errors in manual order picking with respect to human factors. *International Journal of Production Research*, *60*(20), 6350-6372.

Vasilenko, M., Kuzina, E., Bespalov, V., Drozdov, N., Tagiltseva, J., Korenyakina, N., Prokopchuk, V., & Nadolinsky, P. (2021). Digital technologies in quality and efficiency management of transport service. *E3S Web of Conferences*, *244*, 11046.

Wahbi, A., Khaddouj, K., & Lahlimi, N. (2023). Study of the relationship between chatbot technology and customer experience and satisfaction. *International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics*, *4*(6-1 (2023)), 758-771.

Yusof, M. M., Takeda, T., Shimai, Y., Mihara, N., & Matsumura, Y. (2024). Evaluating health information systems-related errors using the human, organization, process, technology-fit (HOPT-fit) framework. *Health Informatics Journal*, *30*(2), 14604582241252763.

Anexo: Guía de Entrevista

Datos generales

- **Objetivo:** Levantar información operativa sobre el funcionamiento actual del proceso de reservas del servicio de transporte puerta a puerta de la empresa Manporcar para el diseño y levantamiento de requerimientos técnicos del sistema automatizado.
- **Dirigido a:** Personal administrativo encargado del despacho y gestión del servicio ($n = 2$).
- **Instrumento:** Guía de entrevista estructurada orientada a la ingeniería de requisitos.

Cuestionario

1. ¿Cómo se gestionan actualmente las reservas del servicio de transporte puerta a puerta?
2. ¿Qué problemas se presentan en el proceso de asignación de conductores?
3. ¿Qué información considera importante registrar en una reserva de transporte?
4. ¿Qué funcionalidades considera necesarias en un chatbot automatizado para la gestión de reservas?
5. ¿Cómo se realiza el seguimiento de los servicios de transporte realizados?
6. ¿Qué beneficios o desventajas percibe en el uso de un sistema automatizado con inteligencia artificial?

Anexo: Cuestionario de Diagnóstico Inicial

Ficha Técnica del Instrumento

- **Objetivo:** Identificar los cuellos de botella operativos, frecuencias de viaje, niveles de alfabetización digital y rangos de espera percibidos por los usuarios en el sistema de reservas manual tradicional de la empresa Manporcar.
- **Dirigido a:** Usuarios frecuentes de la ruta Manta–Portoviejo ($n = 8$).
- **Estructura:** 5 reactivos cerrados de opción múltiple y escala de estimación temporal.

Cuestionario de Diagnóstico

1. **¿Con qué frecuencia utiliza el servicio de transporte compartido puerta a puerta en la ruta Manta–Portoviejo?**

   ☐ Más de 3 veces por semana

   ☐ 1 a 2 veces por semana

   ☐ Quincenalmente

   ☐ Mensualmente o menos

2. **¿A través de qué canal solicita habitualmente sus reservas en el sistema manual actual?**

   ☐ Llamadas telefónicas directas al despachador

   ☐ Mensajes de texto tradicionales o WhatsApp manual

☐ Acudiendo directamente a la terminal de despacho

3. **¿Cuál es el tiempo promedio estimado que debe esperar desde que inicia el contacto hasta que el operador humano le confirma la disponibilidad de su cupo y el conductor asignado?**

   ☐ Menos de 3 minutos

   ☐ Entre 3 y 5 minutos

   ☐ Entre 5 y 10 minutos

   ☐ Más de 10 minutos / Requiere múltiples reintentos

4. **¿Cómo calificaría su nivel de experiencia y destreza digital en el manejo de aplicaciones móviles y entornos conversacionales comerciales?**

   ☐ Alta (Uso cotidiano de bancas móviles, bots comerciales y herramientas digitales)

   ☐ Media (Uso básico de redes sociales y mensajería sin configuraciones avanzadas)

   ☐ Baja (Experimenta dificultades o requiere asistencia para interactuar con sistemas automatizados)

5. **Durante los últimos tres meses, ¿ha experimentado incidentes de sobreventa de cupos, errores en el registro de su nombre/cédula o desorganización en el horario de su recogida bajo el método manual?**

   ☐ Sí, de manera frecuente

   ☐ Sí, de manera ocasional

   ☐ Nunca he experimentado errores

Anexo: Cuestionario de Usabilidad y Satisfacción Postprueba (SUS-Likert)

Ficha Técnica del Instrumento

- **Objetivo:** Evaluar la usabilidad, velocidad percibida, consistencia de datos y satisfacción general del prototipo de chatbot conversacional integrado en Telegram mediante n8n.
- **Dirigido a:** Muestra piloto evaluadora ($n = 10$: 8 usuarios y 2 administrativos).
- **Escala de Medición:** Escala ordinal Likert de 5 puntos: 1 = Muy insatisfecho / Totalmente en desacuerdo; 2 = Insatisfecho / En desacuerdo; 3 = Neutral; 4 = Satisfecho / De acuerdo; 5 = Muy satisfecho / Totalmente de acuerdo.

Cuestionario de Evaluación del Prototipo

1. **Métrica de Rapidez Percibida (Reactivo 1):** ¿Cómo evalúa el nivel de satisfacción respecto a la rapidez general del flujo de reserva del chatbot?

   [1] [2] [3] [4] [5]

2. **Métrica de Latencia Inicial (Reactivo 2):** ¿Cómo evalúa el tiempo de demora o espera transcurrido específicamente para recibir el primer mensaje de respuesta del sistema?

   [1] [2] [3] [4] [5]

3. **Métrica de Eficiencia Temporal Consolidada (Reactivo 3):** El tiempo total requerido para completar todo el flujo (desde el saludo inicial hasta la emisión del boleto estructurado) fue adecuado en comparación con el método manual.

   [1] [2] [3] [4] [5]

4. **Métrica de Consistencia de Información (Reactivo 4):** ¿Cómo califica la claridad y estructura de los datos entregados por el bot respecto al conductor, unidad de transporte y horario asignado?

   [1] [2] [3] [4] [5]

5. **Métrica de Disponibilidad Operativa (Reactivo 5):** ¿Qué tan satisfecho se encuentra con la capacidad de realizar reservas automatizadas de forma continua fuera del horario laboral administrativo (24/7)?

   [1] [2] [3] [4] [5]

6. **Métrica de Intención de Uso Futuro:** ¿Estaría dispuesto a sustituir de forma definitiva el método tradicional de llamadas por este canal automatizado de Telegram?

   [☐] Sí [☐] No

7. **Métrica de Valoración Global (Reactivo 6):** ¿Cómo califica su nivel de satisfacción general con el funcionamiento integral del servicio brindado por el chatbot?

   [1] [2] [3] [4] [5]

Validación Metodológica por Juicio de Expertos y Prueba Piloto

Para garantizar los criterios de validez y fiabilidad metodológica exigidos en la ingeniería de software antes de la aplicación de la postprueba, los instrumentos fueron sometidos a un proceso doble de verificación:

Validación por Juicio de Expertos

El contenido, la claridad sintáctica y la pertinencia de las preguntas de usabilidad fueron evaluados de forma independiente por un comité de tres (3) expertos del área de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) con grado de Maestría/Ph.D. Cada experto cumplimentó una matriz de validación calificando los criterios de suficiencia, claridad, coherencia y relevancia

mediante el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC) de Hernández-Nieto.

Los resultados consolidados arrojaron un índice promedio general de $CVC = 0{,}92$, valor que al ubicarse por encima del umbral estadístico estricto de 0,80 confirma una validez de contenido excelente, certificando que los reactivos miden de forma precisa las variables de usabilidad del software sin ambigüedades técnicas.

Evaluación de Fiabilidad

Una vez aprobada la estructura por los expertos, se ejecutó una prueba piloto controlada inyectando las respuestas de la muestra experimental ($n = 10$). Los datos recopilados en la matriz Likert se procesaron mediante el paquete estadístico SPSS para evaluar la consistencia interna del instrumento a través del coeficiente Alfa de Cronbach, el cual se calcula de acuerdo con la siguiente expresión matemática:

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2}\right)$$

Donde:

- K representa el número total de ítems de la escala evaluada ($K = 6$ reactivos Likert).
- s_i^2 corresponde a la varianza individual observada en cada ítem de la encuesta.
- s_t^2 representa la varianza total consolidada de la escala completa.

El procesamiento de las matrices de respuestas de la postprueba arrojó un valor de fiabilidad de $\alpha = 0{,}84$. En la psicometría y la ingeniería de usabilidad, un coeficiente Alfa comprendido en el rango de $[0{,}80, 0{,}90]$ es catalogado como altamente confiable y homogéneo, demostrando que las preguntas de la encuesta postprueba poseen una estabilidad de medición óptima, libre de contradicciones y apta para sustentar las conclusiones científicas del proyecto de titulación.

Anexo: Consentimiento Informado y Cláusula de Tratamiento de Datos Personales

Formulario de Consentimiento Informado

El presente documento constituye el registro de consentimiento informado para la participación voluntaria en la fase de pruebas de laboratorio y evaluación de usabilidad del prototipo tecnológico titulado *"Chatbot conversacional basado en procesamiento del lenguaje natural para la automatización del proceso de reservas de la empresa Manporcar"*.

1. Información del Estudio

La presente evaluación tiene como objetivo recolectar datos empíricos de rendimiento, latencia conversacional y usabilidad percibida mediante la interacción directa con un agente de Inteligencia Artificial integrado en Telegram. Las pruebas contemplan el registro simulado de variables operativas básicas como nombres, números de cédula de identidad, números de contacto telefónico y ubicaciones geográficas de origen y destino.

2. Compromiso de Confidencialidad y Anonimato

Los investigadores principales garantizan de forma explícita que toda la información recolectada durante los ciclos de prueba será tratada bajo los más estrictos estándares de seguridad informática y confidencialidad. Los datos personales recabados serán disociados y anonimizados de manera inmediata en la base de datos documental MongoDB, impidiendo la vinculación o rastreabilidad de las respuestas y métricas técnicas con la identidad civil real de los participantes piloto. Los resultados consolidados serán utilizados única y exclusivamente con fines académicos y científicos en los reportes de titulación.

3. Voluntariedad y Retiro

La participación en este proceso evaluativo es completamente voluntaria. El usuario se reserva el derecho absoluto de negarse a responder cualquier reactivo de los cuestionarios o a interrumpir las pruebas del chatbot en el instante que lo considere oportuno, sin que esto implique penalización alguna, procediéndose a la eliminación definitiva de sus logs conversacionales del servidor VPS de forma inmediata.

4. Declaración de Consentimiento

Al proceder con la interacción del chatbot en Telegram y cumplimentar los instrumentos de usabilidad adjuntos, usted declara:

- ☐ Haber leído y comprendido en su totalidad la naturaleza, alcances, riesgos mínimos y beneficios del estudio de ingeniería.
- ☐ Estar de acuerdo con los términos de anonimización, confidencialidad y tratamiento técnico de los datos proporcionados.
- ☐ Otorgar su consentimiento libre, explícito e informado para que los datos técnicos de latencia y usabilidad sean procesados de forma agregada en la tesis de grado.

5. Firmas de Respaldo

Firma del Participante Piloto	**Firma del Investigador Principal**

Tratamiento de Datos Personales conforme a Principios de Confidencialidad

Para garantizar el cumplimiento de la gobernanza de datos y blindar el software ante observaciones legales, el backend del sistema (n8n, Supabase y MongoDB) fue diseñado bajo el principio de **Privacidad desde el Diseño (Privacy by Design)**, alineándose estrictamente con la normativa legal de protección de datos personales. El ciclo de vida de la información dentro de la arquitectura se rige bajo los siguientes principios técnicos de seguridad:

1. **Principio de Confidencialidad (Aislamiento de Infraestructura):** Toda la información transaccional que fluye desde la API de Telegram hacia el orquestador n8n es procesada dentro de un entorno de contenedores aislados Docker desplegados en un Servidor Privado Virtual (VPS). Se restringe el acceso físico y lógico a las bases de datos mediante políticas estrictas de control de acceso perimetral, firewalls internos y el uso de variables de entorno cifradas (*Secrets*) para el almacenamiento de tokens de acceso y llaves de la API de OpenAI, impidiendo fugas de información hacia terceros no autorizados.

2. **Principio de Minimización de Datos:** El sistema está programado para solicitar y procesar de forma síncrona únicamente los atributos estrictamente necesarios para cumplir con la lógica de negocio de la reserva de transporte (nombre, cédula, teléfono, ruta y horario). Se prohíbe explícitamente al nodo *AI Agent* la captura o almacenamiento de datos de carácter sensible (información médica, contraseñas, datos biométricos, orientación política, etc.), neutralizando el riesgo de vulneración de derechos en caso de excepciones imprevistas.

3. **Principio de Anonimización y Disociación Semántica:** Almacenar el historial de chat es mandatorio para que el LLM mantenga el contexto de la conversación. No obstante, para resguardar la identidad del usuario, el sistema disocia el identificador de chat único de Telegram (`chat_id`) de los datos reales del pasajero. En la base de datos analítica de MongoDB, los diálogos se indexan bajo un *hash* criptográfico irreversible de un solo

sentido (SHA-256). Esto garantiza que, incluso si un actor malicioso comprometiera la base NoSQL, las estructuras lingüísticas textuales y prompts no puedan ser vinculadas estadísticamente con un individuo identificable.

4. **Seguridad en el Tránsito de Datos (Cifrado):** Toda la comunicación e intercambio de objetos JSON entre el cliente (Telegram), el servidor de automatización (n8n) y las bases de datos transaccionales (Supabase/PostgreSQL) se ejecuta mandatoriamente sobre canales cifrados mediante el protocolo de seguridad de la capa de transporte **TLS 1.3** a través de conexiones HTTPS y WSS protegidas con certificados SSL vigentes.

5. **Restricciones de Acceso a Nivel de Fila (Row Level Security - RLS):** Para evitar vulneraciones de datos cruzados entre conductores o personal administrativo en la base de datos relacional Supabase, se implementaron políticas de seguridad RLS estrictas. Esto garantiza que un token JWT emitido para una consulta específica solo tenga permisos de lectura y escritura sobre las filas de la tabla asociadas estrictamente a su ID verificado, impidiendo la visualización masiva de las reservas e historiales de viaje de la empresa Manporcar.