



**Universidad
Europea**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

MÁSTER EN LOGÍSTICA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER:
ESTRATEGIAS DE INTEGRACIÓN DE
SOLUCIONES 4.0 EN EL SERVICIO
LOGÍSTICO PARA MAXIMIZAR LA
EFICIENCIA OPERATIVA Y LA
EXPERIENCIA AL CLIENTE**

Alumno: CAROLYN MURILLO MARTINEZ

Director: ADRIANA CARLA MORELO ALONSO

ABRIL 2025

Contenido

Resumen.....	4
Abstract.....	4
1. Introducción.....	5
1.1. Contexto y relevancia del tema.....	5
1.2. Planteamiento del problema.....	6
1.3. Justificación del estudio.....	7
1.4. Objetivos (general y específicos)	9
1.5. Metodología y alcance del trabajo.....	10
2. Marco Teórico.....	11
2.1. Evolución de la logística y la transformación digital.....	11
2.2. Tecnologías 4.0 en el sector logístico.....	13
2.3. Tecnologías 4.0 aplicadas en la optimización operativa.....	14
2.3.1 Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático.....	14
2.3.2 Inteligencia Artificial y Automatización de Procesos.....	14
2.3.3 Automatización Robótica de Procesos (RPA) en Logística.....	15
2.3.4 Integración de sistemas de gestión logística (ERP, WMS, TMS, DMS).....	15
2.3.5 Indicadores de desempeño (KPIs) en logística.....	16
2.3.6 Six Sigma y su aplicación en la optimización de procesos.....	16
2.3.7 Blockchain y Trazabilidad.....	15
2.4 El papel de los freight forwarders en la cadena de suministro global.....	17
2.5. Experiencia del cliente en servicios logísticos.....	17
3. Metodología.....	19
3.1. Diseño del estudio y enfoque cuantitativo.....	19
3.2. Descripción del proceso logístico a automatizar.....	20
3.3. Desarrollo del prototipo de automatización con n8n.....	21
3.4. Definición de indicadores de rendimiento (KPIs)	23
3.5. Recolección de datos: procesos manuales vs. procesos automatizados.....	26
3.6. Análisis estadístico de los resultados.....	26
3.6.1 Aplicación de la prueba t de Student.....	27
3.7. Limitaciones del estudio.....	28
4. Análisis y Resultados.....	30
4.1. Comparación del desempeño antes y después de la automatización.....	30
4.2. Evaluación del impacto en eficiencia operativa.....	36
4.2.1 Impacto en reducción de errores y retrabajos	37
4.2.2 Aumento en la productividad.....	38
4.2.3 Beneficios adicionales en eficiencia operativa.....	39
4.3. Impacto en la experiencia del cliente.....	40
4.3.1 Tiempo de respuesta a órdenes.....	40
4.3.2 Niveles de satisfacción basados en tiempos de entrega y precisión.....	40
4.4. Análisis estadístico de los resultados.....	41
4.4.1 Validación de hipótesis con prueba t de Student.....	41

5. Análisis e Interpretación de Resultados.....	44
5.1. Comparación con estudios previos en automatización logística.....	44
5.2. Implicaciones de la automatización en la gestión operativa.....	44
5.3. Aplicabilidad del modelo en otras áreas del freight forwarding.....	45
5.4. Desafíos y oportunidades en la integración de soluciones 4.0.....	45
5.5. Sostenibilidad y Optimización del Recurso Humano.....	46
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	49
6.1. Resumen de hallazgos principales.....	49
6.2. Beneficios cuantificables de la automatización en el proceso logístico.....	49
6.3. Propuestas para la implementación de soluciones 4.0 en freight forwarders..	49
6.4. Futuras líneas de investigación.....	50
6.5. Contramedidas para Evitar Errores en la Programación de n8n.....	50
6.6. Lecciones Aprendidas.....	51
7. Memoria.....	53
8. Fuentes bibliográficas.....	57

Resumen

Este trabajo analiza la integración de soluciones de la Industria 4.0 en los servicios logísticos, con el objetivo de maximizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente. La investigación se enfoca en la logística orientada al servicio, especialmente desde la perspectiva de los agentes de carga y coordinadores logísticos. Se desarrolló un prototipo de automatización de procesos utilizando la plataforma no-code *n8n*, para optimizar dos flujos de trabajo clave en operaciones de carga internacional. La implementación fue evaluada en función del ahorro de tiempo, la reducción de errores, la eficiencia en costos y la satisfacción del cliente. A través de la generación y procesamiento de órdenes aleatorias, se compararon indicadores clave de rendimiento (KPIs) antes y después de la automatización. Los resultados demuestran el potencial de las herramientas low-code/no-code para mejorar el desempeño del servicio sin necesidad de grandes inversiones ni conocimientos técnicos avanzados. El estudio también contempla aspectos de sostenibilidad y presenta recomendaciones para las empresas que buscan adoptar soluciones digitales y mantenerse competitivas en el sector logístico.

Abstract

This study explores the integration of Industry 4.0 solutions into logistics services to maximize operational efficiency and enhance customer experience. The research focuses on service-oriented logistics, particularly from the perspective of freight forwarders and logistics coordinators. A process automation prototype was developed using the no-code platform *n8n*, aimed at streamlining two critical workflows in international freight operations. The implementation was evaluated through time savings, error reduction, cost efficiency, and customer satisfaction. By generating and processing random orders, the study compared key performance indicators (KPIs) before and after automation. The results highlight the potential of low-code/no-code tools in improving service performance without the need for large-scale investments or technical expertise. The study also considers sustainability and proposes recommendations for companies seeking to adopt digital solutions to stay competitive in the logistics sector.

Key words

Logistics 4.0, Process automation, Operational efficiency, Customer experience, Freight forwarding, *n8n*, Artificial intelligence, Digital transformation, Logistics KPIs, Error reduction, Decision-making,

1. Introducción

1.1. Contexto y relevancia del tema

En las últimas dos décadas se ha venido desarrollando diferentes tecnologías dentro de la cuarta revolución Industrial llamada también Industria 4.0, la cual según IBM se define como la fabricación inteligente o la materialización de la transformación que da paso a la toma de decisiones en tiempo real, mayor agilidad, flexibilidad y productividad para impactar en la manera en que las empresas mejoran, distribuyen y fabrican sus productos o servicios.

Estas tecnologías emergentes se pueden identificar como, Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), Big Data, Blockchain, entre otras, cuya convergencia puede dar solución a diferentes situaciones erráticas en las operaciones empresariales y optimizar los procesos a través de la automatización. Estas tecnologías han estado impactando la manera en que se gestionan el almacenamiento, el transporte, y distribución de mercancías para operadores logísticos (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Dentro de la industria logística, los freight forwarders desarrollan un rol imprescindible para garantizar la buena coordinación de la logística del transporte, la satisfacción del exportador y el cliente final al actuar como intermediarios entre empresas y proveedores de transporte. La función principal es optimizar el traslado o movimiento de mercancías a lo largo del mundo, a su vez debe realizarlo bajo la competencia de costos, eficiencia y cumplir con todas las normas establecidas. El cliente de hoy en día se caracteriza por demandar una información eficaz, veráz o precisa en tiempo real, un tiempo de entrega más corto, en un entorno muy dinámico. La integración de soluciones 4.0 en el servicio logístico se ha convertido en un factor clave de diferenciación (Hofmann & Rüsçh, 2017); Contar con herramientas tecnológicas que optimicen los procesos internos que se llevan a cabo desde las

agencias logísticas para cumplir con las ordenes que generan los clientes exportadores para el cliente final es una ventaja frente a la competencia pues esto supone una mejor atención para los clientes.

La revolución de la logística y la gestión de la cadena de suministro en la fabricación inteligente es uno de los objetivos clave del movimiento Industria 4.0. Las tecnologías emergentes, como los vehículos autónomos, los sistemas ciber físicos y los gemelos digitales, permiten soluciones altamente optimizadas y automatizadas en estas áreas para garantizar la trazabilidad completa de cada producto (Gonzalez. A. 2022)

El presente estudio busca analizar las posibles estrategias de soluciones logísticas en la experiencia al cliente y en las operaciones para mejorar la eficiencia y optimizar los procesos; comprendiendo como los freight forwarders podrían aprovechar dichas tecnologías para mejorar los procesos, disminuir errores y contribuir con la evolución del sector logístico en la revolución digital.

1.2. Planteamiento del problema

El sector logístico enfrenta una transformación propiciada por el avance de la digitalización y la adopción de tecnologías emergentes, conocidas como soluciones 4.0. Estas innovaciones permiten mejorar la eficiencia operativa, la visibilidad en la cadena de suministro y la toma de decisiones basada en datos, Sin embargo, la aplicación de esta en el contexto de los servicios logísticos, especialmente en la figura de freight forwarders, todavía hace frente a un reto (Hofmann & Rüsck, 2017). Los freight forwarders, al constituir una figura de intermediación para el transporte y la distribución de mercancías, dependen de la existencia de numerosos actores entre los que se encuentran transportistas, agentes de aduanas y clientes. La existencia de toda esta complejidad promueve que la misma integración en cuanto a la aplicación de tecnologías como el Big Data, IA, IoT y Blockchain no sea homogénea en el sector. Las empresas de este sector suelen encontrarse frente a barreras como la escasez de infraestructura digital, la resistencia al cambio organizacional, así como los altos costes iniciales de implementación (Queiroz et al., 2019).

Un reto adicional importante es la urgencia de ofrecer una mejor experiencia al cliente en el servicio logístico. Los clientes demandan mayor transparencia, trazabilidad en tiempo real y tiempos de respuesta más cortos, lo que empuja a los freight forwarders a cambiar y adoptar soluciones tecnológicas con el objetivo de seguir siendo competitivos en este contexto. Sin embargo, la falta de integración tecnológica podría lograr que se tengan, por ejemplo, procesos ineficientes, errores en la documentación o tiempos de entrega dilatados que, a su vez, pueden afectar la percepción del servicio (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Por lo que, en este sentido, el problema central que se intenta contestar en esta investigación es el siguiente:

¿Cómo pueden los freight forwarders integrar soluciones 4.0 como el en sus servicios logísticos para maximizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente?

El propósito de este trabajo es analizar las distintas estrategias que permiten llevar a cabo la implementación de tecnologías 4.0 como la integración de sistemas y la orquestación de flujos de trabajo para realizar automatización en las operaciones de los freight forwarders, identificando en dicho proceso los beneficios, barreras y mejores prácticas que puedan existir en el sector. La finalidad es ofrecer un marco que contribuya a que las empresas sean capaces de generar ciertas estrategias eficaces de digitalización en los procesos logísticos.

1.3. Justificación del estudio

La transformación hacia una Logística 4.0 ha conllevado una notable alteración en la manera como hacen las empresas para gestionar sus labores, esto es, integrando herramientas tecnológicas avanzadas que las optimizan para conseguir una mejor experiencia para el cliente. A pesar de ello, la introducción de las herramientas tecnológicas para freight forwarding continúa siendo un reto a causa de la complicada cadena de suministro extremadamente global, la dependencia frente a muchos

actores, y la concatenación necesaria para integrar tecnologías digitales (Hofmann & Rüschi, 2017).

Este estudio es relevante por varias razones:

1. La aplicación de tecnologías mediante el reconocimiento de errores fallidos o tareas repetitivas susceptibles de automatización y de este modo mejorar procesos junto a eficiencia. Contribución al sector de la logística: mientras que la mayoría de las empresas de freight forwarding han alcanzado niveles de éxito destacados en el ámbito de la digitalización, todavía permanecen muchas empresas que hacen uso de procesos manuales o sistemas parciales que restringen fuertemente su capacidad para ofrecer servicios ágiles y que son personalizados. Analizar estrategias de integración de soluciones 4.0 permitirá llegar a identificar oportunidades de mejora de la gestión de servicios logísticos (Winkelhaus & Grosse, 2020).
2. Mejorar la eficiencia operativa al descubrir tendencias de los servicios que los clientes demandan (estacionalidades) para preparar las operaciones y/o la disponibilidad de los recursos y actividades logísticas en función de las tendencias que ya se han determinado. La adopción de tecnologías como Big Data, Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT) pueden conseguir ahorros, minimizar fallos operativos y aumentar la trazabilidad de los envíos; no obstante, muchas empresas se ven enfrentadas a barreras en su utilización, como la resistencia al cambio o la falta de conocimiento tecnológico (Queiroz et al., 2019). Este estudio pretende conocer cuáles son esos principales obstáculos y, a partir de ahí, proporcionar otras formas para eliminarlos, dando lugar a una ventaja competitiva al implementar herramientas que permitan tener una calidad de servicio al cliente más efectiva, lo que determina un nuevo camino para la logística basada en el análisis de datos que puede provocar un cambio en los patrones de los sistemas logísticos que ya están establecidos.

3. El tercer aspecto del impacto de la digitalización es la experiencia del cliente, la cual puede ser contemplada desde las características de este, o sea, que la digitalización ayuda a optimizar los procesos internos y la experiencia del usuario, ya que permite mayor visibilidad de la cadena de la cual se encarga, tiempos de respuesta más cortos y una mejor y ágil comunicación con el cliente. A partir de esta investigación se va a determinar de qué forma la implementación de soluciones 4.0 puede mejorar la experiencia del cliente y la consecuente satisfacción y fidelización en freight forwarding (Ivanov et al., 2019).

4. Relevancia académica y empresarial: Este trabajo tiene un impacto en el ámbito académico y otro en el ámbito empresarial. En lo que al académico respecta, esta investigación entregará un análisis detallado de las mejores prácticas sobre las que se fundamenta la digitalización de servicios logísticos, y en lo que al empresarial respecta puede servir como guía de referencia para asistir a las empresas que desean mejorar su competitividad mediante la tecnología.

Precisamente en este sentido, sería la justificación del estudio presente, la necesidad de conocer la forma en que los freight forwarders o toda clase de empresas logísticas pueden aplicar las soluciones 4.0, consiguiendo la mejora de la eficiencia en las operaciones y el perfeccionamiento de la experiencia del cliente y delimitar estrategias prácticas para su incorporación en la gestión logística.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Analizar e identificar las estrategias de integración de soluciones 4.0 en el servicio logístico de los freight forwarders, con el fin de maximizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente.

Objetivos específicos

1. Comprobar qué porcentaje de tiempo se ahorra al implementar estrategias de tecnologías 4.0 en el proceso logístico que enfrentan los freight forwarders.
2. Evaluar en qué medida la implementación de tecnologías 4.0 reduce los errores operativos en el proceso logístico que enfrentan los freight forwarders.
3. Establecer el ahorro de los costos logísticos evitados al implementar tecnologías 4.0 en el proceso logístico que enfrentan los freight forwarders.
4. Demostrar cómo aumenta la satisfacción del cliente al recibir un servicio que implementa tecnologías 4.0.

1.5. Metodología y alcance del trabajo

Metodología

La metodología aplicada para este trabajo es la experimental cuantitativa.

Inicialmente, se realizará la simulación de la recepción de 100 órdenes de clientes correspondientes a la carga de un material (generadas con la IA de OpenAI), que serán automatizadas en el programa N8N para automatizar procesos; estas órdenes serán recibidas vía email en similitud con la realidad por donde se reciben las ordenes de los cliente en empresas de freight forwarding; las ordenes serán transformadas en primera instancia en un correo de validación de orden dirigida al cliente y en la generación de una orden para el transportista vía email, de igual manera cada vez que se reciba una modificación de alguna orden, ya sea una cancelación, reprogramación o

adición, el programa va a enviar una nueva validación al cliente y una nueva orden para el transportista. Se volverá a realizar la prueba para otras 100 órdenes nuevas y estudiar el comportamiento por segunda vez. Todo esto con el fin de comprobar si aplicar tecnologías de automatización de procesos digitales podría optimizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente.

Alcance del trabajo

Este estudio se centrará en demostrar la eficiencia de utilizar tecnologías 4.0 como estrategia para automatizar dos procesos que se realizan dentro del servicio logístico, como freight forwarders; la recepción de ordenes de los clientes y de las modificaciones de estas; la creación de ordenes automáticas a partir de los correos recibidos.

Este estudio contempla la implementación real de tecnologías como lo son N8N, un programa de automatización en un entorno controlado (simulación). El análisis se centrará en la evaluación de los siguientes aspectos dentro del contexto de los freight forwarders:

- Reducción de errores operativos mediante la adopción de soluciones 4.0 como la aplicación tecnologías de automatización de procesos digitales para crear agentes digitales en N8N.
- Optimización de tiempos en procesos logísticos y su impacto en la eficiencia.
- Ahorro de costos logísticos evitados gracias a la digitalización y automatización.
- Impacto en la satisfacción del cliente derivado de la digitalización del servicio.

2. Marco teórico

2.1. Evolución de la logística y la transformación digital

La logística ha experimentado una evolución significativa a lo largo del tiempo, pasando de ser un conjunto de actividades centradas en el almacenamiento y transporte a convertirse en un sistema complejo e interconectado basado en

tecnología digital. La aparición de la Logística 4.0 ha marcado un punto de inflexión en la gestión de la cadena de suministro, incorporando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia, la visibilidad y la toma de decisiones en tiempo real (Hofmann & Rusch, 2017).

De la logística tradicional a la Logística 4.0

La evolución de la logística se puede dividir en cuatro grandes etapas:

- Logística 1.0 (Revolución Industrial): Se caracterizó por la mecanización de procesos y el uso del ferrocarril y la navegación a vapor para el transporte de mercancías.
- Logística 2.0 (Siglo XX - Producción en masa): Introducción de la producción en cadena y mejoras en el almacenamiento y la distribución.
- Logística 3.0 (Globalización y digitalización inicial): Uso de computadoras para la planificación logística, la adopción de sistemas ERP y los primeros avances en comercio electrónico.
- Se postula la inclusión de tecnologías que pertenecen a los paradigmas emergentes como por ejemplo el Big Data, el Internet de las cosas (IoT), Blockchain, inteligencia artificial y automatización para el perfeccionamiento del manejo logístico y la mejora de la experiencia del consumidor (Winkelhaus & Grosse, 2020).

Impacto de la transformación digital en la logística

La digitalización ha transformado completamente el sector logístico por medio de diferentes tecnologías y metodologías:

- Big Data y Analytics: Facilitan la toma de decisiones basada en datos que permiten la optimización de las rutas de transporte, reduciendo el coste operativo (Ivanov et al., 2019).
- IoT y Sensores inteligentes: Permiten el seguimiento en tiempo real de los envíos, mejorando así la visibilidad de la cadena de suministro (Queiroz et al., 2019).

- **Blockchain:** Mejora la seguridad y la transparencia en las transacciones logísticas impidiendo así el fraude y los errores en la documentación (Saber et al., 2019).
- **Automatización y Robótica:** Aplicaciones en los centros de distribución y en el distanciamiento para incrementar la eficiencia operativa.
- **Inteligencia Artificial:** Mejoran la planificación logística y predicen la demanda con más precisión (Montoya-Torres et al., 2021).

Freight Forwarders y la adopción de Soluciones 4.0

En la gestión del transporte, la transformación digital es esencial para la optimización del servicio. Puesto que los freight forwarders han de enfrentarse a repetir una serie de acciones y procesos logísticos, la digitalización permite mejorar, entre otras cuestiones, la comunicación, los tiempos de respuesta y la experiencia del cliente (Wang et al., 2020), aunque la adopción de estas soluciones todavía tiene que superar barreras, tales como la resistencia al cambio, la escasa inversión y la integración con los sistemas legacy existentes (Kamble et al., 2020).

2.2. Tecnologías 4.0 en el sector logístico

Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) permite la interconexión de dispositivos mediante sensores que recopilan y transmiten datos en tiempo real. En logística, el IoT tiene diversas aplicaciones:

- **Trazabilidad en tiempo real:** Sensores en paquetes, contenedores y vehículos permiten monitorear ubicación, temperatura y estado de los envíos (Ben-Daya et al., 2019).
- **Gestión de inventarios:** Dispositivos RFID y sensores inteligentes optimizan el control de stock en almacenes y centros de distribución (Zhong et al., 2017).
- **Mantenimiento predictivo:** Sensores en flotas de transporte detectan fallos mecánicos antes de que ocurran, reduciendo costos y tiempos de inactividad (Nguyen et al., 2021).

Big Data y Analítica Avanzada

El Big Data permite gestionar grandes volúmenes de información, facilitando la toma de decisiones estratégicas en logística. Sus principales beneficios incluyen:

- Optimización de la cadena de suministro: Predicción de la demanda y reducción de tiempos de entrega mediante análisis de datos históricos (Wamba et al., 2017).
- Gestión de riesgos: Identificación de factores que podrían afectar la cadena de suministro antes de que ocurran (Ivanov et al., 2019).
- Personalización del servicio: Análisis de patrones de compra para mejorar la experiencia del cliente (Richey et al., 2016).

2.3 Tecnologías 4.0 aplicadas en la optimización operativa

2.3.1 Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático

La Inteligencia Artificial (IA) transforma la logística a través de algoritmos avanzados que permiten:

Optimización de rutas: Reducción de costos y tiempos de entrega mediante el uso de IA para el cálculo de rutas eficientes (Tang et al., 2020).

Automatización de procesos: Uso de chatbots y asistentes virtuales para mejorar la atención al cliente y agilizar gestiones logísticas (Russell & Norvig, 2021).

Gestión de almacenes: Robots de picking y sistemas de IA mejoran la eficiencia en la preparación de pedidos (Kamble et al., 2020).

2.3.2 Inteligencia Artificial y Automatización de Procesos

La automatización inteligente combina tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) y

automatización, permitiendo la ejecución de tareas de bajo nivel dentro de una empresa. Esta combinación facilita la automatización de procesos repetitivos, mejora la eficiencia operativa y reduce costos. (IBM. (S.f))

2.3.3 Automatización Robótica de Procesos (RPA) en Logística

La Automatización Robótica de Procesos (RPA) utiliza robots de software para automatizar actividades repetitivas y rutinarias de procesos de negocio y, en logística, RPA es la automatización de actividades como el procesamiento de pedidos, la gestión de existencias o la administración de la información para auditorías con el objetivo de reducir errores y el tiempo de procesamiento. (AnyRobot. (s.f.))

2.3.4 Integración de sistemas de gestión logística (ERP, WMS, TMS, DMS)

La integración de sistemas logísticos, como el ERP (Enterprise Resource Planning), el WMS (Warehouse Management System) y el TMS (Transportation Management System), es esencial para optimizar la actividad logística. Un WMS permite a las organizaciones gestionar y controlar las operaciones diarias del almacén desde la recepción de la mercancía hasta la salida de esta; en cambio, un TMS tiene la función de ser un software que gestiona la logística vinculada con el movimiento físico de las mercancías (SAP. (s.f.)). La buena integración de un WMS en un TMS incluye varios pasos críticos que abarcan la planificación, la implementación y el seguimiento (SGV Software, 2021).

Un Sistema de Gestión de Entregas (DMS) es una solución integral diseñada para optimizar y gestionar todo el proceso de entregas, desde la planificación hasta la finalización. Este sistema permite a las empresas programar, administrar y coordinar eficazmente las operaciones de entrega, asegurando que los productos lleguen a los clientes de manera eficiente y puntual. Además, facilita la supervisión en tiempo real de las entregas, la optimización de rutas y la mejora del rendimiento de los conductores, contribuyendo a una mayor satisfacción del cliente y eficiencia operativa. (RocketFlow. (s.f.)).

2.3.5 Indicadores de desempeño (KPIs) en logística

Los KPIs o Key Performance Indicators, son métricas por las cuales las compañías pueden medir, utilizar, rastrear y optimizar los procesos de la cadena de suministro. Mediante los KPIs se puede eliminar los errores en el flujo de la entrega de productos, reducir los costos, potenciar la rentabilidad, mejorar la productividad de los empleados (ESAN, (s.f.)).

2.3.6 Six Sigma y su aplicación en la optimización de procesos

Seis Sigma es una forma de mejora continua que se basa en la eliminación de defectos y la mejora de procesos. Se fundamenta en la obtención y análisis de datos para determinar las áreas que se van a mejorar en la práctica mediante la aplicación de soluciones efectivas. Con todo, la filosofía de Seis Sigma pone el foco en la calidad, las variaciones y la satisfacción del cliente (Netlogistik, (s.f.)).

2.3.7 Blockchain y Trazabilidad

A través de registros descentralizados e inmutables, la tecnología Blockchain ofrece seguridad y transparencia en la cadena de suministro. De acuerdo con el estado actual de la técnica, las aplicaciones de esta tecnología son las siguientes:

Trazabilidad de productos: Con la tecnología es posible llevar a cabo un seguimiento en tiempo real de los movimientos de las mercancías; disminuyendo el número de errores y los fraudes (Saberri et al. 2019).

Smart contracts: Automatizan la ejecución de acuerdos comerciales, bajo condiciones preestablecidas, una vez que se cumplen (Queiroz et al. 2019).

Seguridad en las transacciones: Disminuyen el riesgo de falsificación de documentos y certificaciones (Casino et al 2019).

2.4 El papel de los freight forwarders en la cadena de suministro global

Los freight forwarders tienen una función importante en la logística internacional, pues concentran la actividad de exportadores, importadores y proveedores de transporte. En concreto, los freight forwarders hacen todo lo que hay que hacer para coordinar y hacer el movimiento de mercancías, asegurando que se cumple la eficiencia, costes competitivos y cumplimiento normativo.

2.5. Experiencia del cliente en servicios logísticos

La experiencia del consumidor es uno de los elementos más relevantes en la administración de los servicios logísticos, sobre todo en un entorno actual tan competitivo, que hace que las expectativas de los consumidores estén en constante transformación. La competencia que una empresa logística logra ofrecer, en particular en lo que respecta con la experiencia del cliente, resulta determinante en el grado de lealtad y de satisfacción alcanzado, así como también en el de la fidelización de los consumidores. En este sentido, las soluciones logísticas que hacen uso de la 4.0 tienen un notable efecto sobre el objetivo de mejorar la experiencia del consumidor.

Factores clave en la experiencia del cliente en logística

Transparencia y trazabilidad: El cliente requiere visibilidad en tiempo real en sus productos a lo largo de la cadena de suministro. Herramientas como el Internet de las Cosas (IoT) y el Blockchain permiten un seguimiento de mercancías más eficiente y seguro, ya que los clientes obtienen información en tiempo real sobre el estado de los despachos, tiempos de entrega y la presencia o ausencia de incidencias de productos (Ben-Daya et al., 2019).

Comunicación proactiva: La parte del servicio al cliente debe ser rápida, eficaz anticipándose a los problemas. Las tecnologías en materia de comunicación como los

chatbots apalancados por la IA pueden ofrecer soporte ininterrumpido, resolviendo en tiempo real y gestionando incidencias de forma rápida y eficaz. De esta manera, la IA puede mejorar la interacción del cliente y el servicio logístico (Montoya-Torres et al, 2021).

Personalización del servicio: Las empresas pueden ofrecer servicios logísticos personalizados gracias a la integración del Big Data y la analítica avanzada. Analizando el comportamiento y las opciones de los clientes, las soluciones logísticas pueden hacerse a medida. Esta personalización también puede incluir la individualización de las opciones de entrega, horarios y los métodos de envío, favoreciendo así la satisfacción del cliente (Christopher, 2016).

Velocidad y fiabilidad: La velocidad y fiabilidad de las entregas es una pieza clave en la experiencia del cliente. Las soluciones logísticas 4.0 como el picking automatizado o el uso de vehículos no tripulados puede reducir los tiempos de entrega facilitando así que los productos lleguen a su destino según lo acordado y sin errores. Dicha eficiencia apoya a la percepción que los clientes tienen de la empresa logística (Rushton et al., 2017).

Sostenibilidad: Los clientes están cada día más preocupados por la huella que dejan sus compras sobre el medio ambiente. La sostenibilidad es un aspecto de la experiencia del cliente dentro de la cadena de suministro, ya que muchos clientes prefieren a las empresas que aplican prácticas logísticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La logística 4.0 permite una mayor eficiencia energética y una reducción de las emisiones, lo que también puede convertirse en un factor diferenciador en la experiencia del cliente (Kamble et al., 2020).

3. Metodología

3.1. Diseño del estudio y enfoque cuantitativo

- **Enfoque**

El presente estudio tiene un enfoque experimental basado en la comparación del proceso manual vs. Automatizado de dos procesos realizados por freight forwarders, además, cuenta con un enfoque cuantitativo en la medida que se realizan la medición de tiempos, errores, eficiencia de procesos, económica y satisfacción del cliente a partir del tiempo de respuesta antes y después de la automatización.

- **Variables de estudio**

De tiempo

Variable dependiente: Tiempo ahorrado

Variables independientes: Tiempo promedio antes, Tiempo con tecnología.

De errores

Variable dependiente: Disminución de errores.

Variables independientes: errores antes, errores después

De productividad

Variable dependiente: Diminución de retrabajos

Variables independientes: No. De correcciones (doc) antes, No. De correcciones (doc) después.

De rendimiento

Variable dependiente: Productividad

Variables independientes: Número total de ordenes gestionadas, Tiempo total en horas.

Variable dependiente: Cambio en productividad

Variables independientes: Productividad después, Productividad antes.

Satisfacción del cliente

Variable dependiente: Reducción de tiempos de respuesta tras recibir una orden.

Variables independientes: Tmanual, Tautomatico

Método de análisis

Para realizar los análisis una vez obtenidos los resultados de la gestión antes y después de la automatización se aplicará una prueba **t de Student**, gráficos de control, cálculo de KPIs.

3.2. Descripción del proceso logístico a automatizar

- Actualmente se realiza en la gestión de órdenes la recepción de órdenes, procesamiento en Excel, generación de documentos en Word; los clientes de las empresas envían sus ordenes ya sea para exportación importación o movimientos domésticos, en este estudio nos enfocaremos en las ordenes que se reciben para exportaciones, dicho esto, en las actividades diarias de un agente de freight forwarding este debe recibir una orden de un cliente via email, la cual viene con el numero o el ID de la orden (el ID que le asigna el cliente a una orden en específico), el producto que se va a cargar dentro de un container para la exportación, el día y la hora en que se realizará dicha carga. Posteriormente se debe guardar esta información externa en la base de datos de la compañía y asignarle un contenedor específico, un ID interno de la empresa, y revertir el correo con la nueva información, de esta forma el cliente da por entendido que la orden fue recibida adecuadamente y sí se realizará. El agente también deberá tomar la información previa para mandarla a el despachador de camiones que sabrá qué día, que hora, que numero de ordenes, y en que contenedor se cargará el producto, de igual forma la dirección desde donde parte hacia donde se dirige.
- Dentro de los puntos críticos que enfrenta este proceso existen demoras que pueden ser resultado ya sea de poca productividad del agente desde el

momento en que recibe la orden y debe ejecutar las actividades siguientes o porque este se encuentre resolviendo algún inconveniente generado desde otro frente de las operaciones y esto resulta en una tardía respuesta al cliente. Los errores de escritura al tomar la información proveniente del correo del cliente y por consiguiente es posible que incluso se pueda llegar a cargar un producto equivocado, o el camionero llegue a su destino de partida y busque un contenedor equivocado que no encuentra allí, lo cual puede significar un viaje perdido o una demora. También, el equivocarse en cualquier referencia supone un retrabajo para el agente, pues debe volver a realizar una actividad que daba por hecha y la insatisfacción del cliente al ejecutar mal una orden.

- Este proceso es adecuado para realizar la automatización porque de ser eficiente impactaría en gran medida las principales actividades que realiza un freight forwarder y por lo tanto habrían grandes beneficios como, la disminución de costos por errores en viajes en vano, los costos por servicios generados por el cargue de un producto incorrecto, ahorro de tiempo que se puede emplear en otras actividades, e impactar de forma positiva a que se ejecuten bien todas las ordenes de los cliente y por ende una mejora en su satisfacción.

3.3. Desarrollo del prototipo de automatización con n8n



¿Qué es n8n?

- n8n está compuesta por una serie de herramientas para la automatización de procesos mediante un enfoque low-code/no-code, que permite la integración y orquestación de flujos de trabajos entre múltiples sistemas. Se utiliza para

conectar aplicaciones y automatizar tareas, sin escribir manualmente cada integración.

Características clave de n8n:

- Interfaz visual para la creación de flujos de trabajo.
- Compatibilidad con múltiples herramientas (Gmail, Excel, bases de datos, ERP, etc.).
- Ejecución en la nube o en local, lo que permite adaptabilidad a diferentes entornos.
- Automatización de tareas repetitivas, mejorando la eficiencia operativa.

Rol de n8n en este proyecto:

- Facilita la automatización de la gestión de órdenes dentro del proceso logístico.
- Reduce el tiempo requerido para procesar cada orden.
- Minimiza errores humanos al eliminar la manipulación manual de datos.
- Mejora la experiencia del cliente al proporcionar respuestas más rápidas y precisas.

¿Cómo se configuró el flujo de trabajo en n8n?

Recepción de órdenes

- Se configura Gmail/Outlook como nodo inicial para recibir automáticamente los correos con las órdenes.
- Se extrae la información relevante del correo (cliente, detalles de la orden, adjuntos, etc.).

Procesamiento automatizado en Excel

- Se integra con Google Sheets o Microsoft Excel para registrar las órdenes recibidas.
- Se crean nuevas filas en la hoja de cálculo con los datos extraídos.

- Se validan datos automáticamente (evitando errores comunes en el ingreso manual).

Generación de documentos (Word/PDF)

- Se configura un nodo para generar automáticamente documentos de órdenes en formato Word o PDF.
- Se usa una plantilla con los datos extraídos desde Excel para estandarizar la documentación.

Respuesta automática al cliente

- Se configura un nodo en n8n para enviar respuestas automáticas por correo confirmando la recepción y procesamiento de la orden.
- Se adjunta el documento generado y se proporciona un tiempo estimado de entrega.

Para el desarrollo de Nodos que requerían codificación al igual que para la manipulación de la herramienta N8N fue necesario el uso de inteligencias artificiales como Chat GPT y Deepseek.

3.4. Definición de indicadores de rendimiento (KPIs)

Key Performance Indicators (KPIs): los indicadores clave para evaluar los resultados de las pruebas realizadas serán los siguientes:

Tiempo:

- Tiempo ahorrado (KPI): ahorro de tiempo en procesar la orden y/o modificaciones.

$$\left(\frac{\text{Tiempo promedio antes} - \text{Tiempo con tecnología}}{\text{Tiempo promedio antes}} \right) \times 100$$

Errores:

- Disminución de errores (KPI): Reducción de errores en documentación y despachos.

Errores en promedio de los agentes por cada 20 ordenes = Errores antes

Errores después de la automatización = Errores después.

$$\left(\frac{\text{Errores antes} - \text{Errores después}}{\text{Errores antes}} \right) \times 100$$

- Diminución de retrabajos (KPI): Reducción del número de correcciones en la documentación necesaria para ejecutar las ordenes, donde:

Numero de correcciones en los documentos antes de la automatización = No.

De correcciones (doc) antes.

Numero de correcciones en los documentos después de la automatización =

No. De correcciones (doc) después

$$\left(\frac{\text{No. de correcciones (doc) antes} - \text{No. de correcciones (doc) después}}{\text{No. de correcciones (doc) antes}} \right) \times 100$$

Productividad:

- Rendimiento (KPI): Variación de ordenes generadas por hora.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Número total de órdenes gestionadas}}{\text{Tiempo total en horas}}$$

$$\text{Cambio en productividad (\%)} = \left(\frac{\text{Productividad después} - \text{Productividad antes}}{\text{Productividad antes}} \right) \times 100$$

Satisfacción del cliente:

- Feedback/ CSAT- Customer Satisfaction Score (KPI): Aumento de feedback positivos.

$$\text{CSAT} = \left(\frac{\text{Número de respuestas positivas}}{\text{Número total de respuestas}} \right) \times 100$$

Dado que este trabajo se basa en un ambiente simulado no es posible medir el aumento de feedbacks positivos, sin embargo, se sugiere tener en cuenta dicha variable para la elaboración propia de futuras automatizaciones en organizaciones.

- Tiempos de respuesta/Order response time - ORT (KPI): Reducción de tiempos de respuesta tras recibir una orden.

$$\text{ORT} = \frac{\sum (\text{Tiempo de respuesta de cada orden})}{\text{Número total de órdenes}}$$

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{T_{\text{manual}} - T_{\text{automático}}}{T_{\text{manual}}} \times 100$$

Donde T_{manual} es igual al tiempo promedio de respuesta que se tarda en responder antes de la automatización y $T_{\text{automático}}$ es igual tiempo de respuesta que se tarda en responder después de la automatización.

3.5. Recolección de datos: procesos manuales vs. procesos automatizados

Se procede a realizar los cálculos de toma el tiempo real promedio que le toma a 5 agentes de carga realizar las mismas funciones, enviar el correo de validación y el correo a el transportista para que ejecute el trabajo, realizando la medición del tiempo por orden, de esta manera se busca definir cuanto se demoraría en promedio un agente en realizar las 100 órdenes. También se busca registrar cuantos errores ocurren y por consiguiente los gastos generados por ese error.

3.6. Análisis estadístico de los resultados

Una vez obtenidos los resultados del proceso manual y del proceso automatizado se aplicará una prueba de T- student pareada para determinar si los cambios son estadísticamente significativos, en cuanto a el tiempo, costo, satisfacción del cliente con base a los feedbacks y los tiempos de respuesta.

Hipótesis:

- **H₀ (Hipótesis Nula):** la automatización no mejora significativamente los errores, no aumenta el tiempo y la satisfacción del cliente y no provoca una disminución en los costos a los errores.
- **H₁ (Hipótesis Alternativa):** la automatización reduce los errores en un 60%, aumenta el tiempo ahorrado y la satisfacción del cliente en un 40%, y los costos asociados a los errores de estas operaciones disminuyen desde un 80%.

3.6.1 T – Student para dos muestras pareadas (o muestras relacionadas):

Finalmente se aplicará una prueba de T-student para dos muestras pareadas, para determinar si los cambios en la automatización fueron significativos.

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}}$$

Donde:

d = media de las diferencias entre los valores antes y después.

sd = desviación estándar de las diferencias.

n= número de observaciones (órdenes analizadas).

En adición, para garantizar una mejora continua en los resultados de esta modelización este estudio aplica la metodología Six Sigma, específicamente el ciclo DMAIC, donde se busca:

- **Define:** Se ha identificado la automatización por medio de N8N como la mejor estrategia para maximizar la eficiencia operativa y mejorar la experiencia del cliente.
- **Measure:** Se recopilarán datos de los KPIs antes y después de aplicar la automatización.
- **Analyze:** Se compararán los resultados obtenidos por medio de los KPIs para validar la hipótesis y la aplicación de una prueba t- student pareada.
- **Improve:** Se realizarán los ajustes necesarios en la programación con N8N, o en las actividades logísticas para optimizar los procesos.
- **Control:** Se podrá evaluar las mejoras de forma sostenida en el tiempo a partir de la revisión continua.

3.7. Limitaciones del estudio

El presente estudio es un indicativo de la capacidad de automatizar procesos logísticos muy robusta mediante n8n; sin embargo, tiene limitaciones que se han de tener muy en cuenta a la hora de interpretar los resultados:

- **Alcance restringido de la automatización:**
Este trabajo trata de la automatización de determinadas tareas en el proceso de gestión de órdenes dentro del ámbito de freight forwarding. No se mencionan otros procesos importantes de la logística como la integración con sistemas ERP, WMS o TMS, de forma que la aplicación de los resultados y soportes empíricos se reducen a operaciones más simples.
- **Limitaciones técnicas de la herramienta n8n:**
Si bien n8n es una poderosa herramienta de automatización, presenta limitaciones en conectividad con determinados sistemas y en la gestión de procesos muy personalizados. Además, algunos de sus elementos avanzados necesitan ciertas configuraciones adicionales o una conectividad con herramientas externas.
- **Uso de datos simulados:**
La verificación del flujo de trabajo automatizado se realizó usando datos artificiales, lo que no podría ser completamente exacto en cuanto a la diversidad y complejidad propio de un entorno productivo real. Datos que podrían influir en la incertidumbre de los resultados obtenidos.
- **Evaluación en un periodo de corto plazo:**
La investigación considera las simulaciones y las pruebas en un entorno controlado sin tener en consideración los efectos a largo plazo de la automatización (mantenimiento del sistema, escalabilidad de la solución o ejecución de flujos de trabajos con sus fallos correspondientes).
- **Factores humanos y resistencia al cambio:**
La evaluación del impacto de la automatización en el personal que realiza, en la actualidad, las tareas manuales correspondientes. Aspectos tales como curva de aprendizaje, necesidad de formación adicional y aceptación del nuevo sistema no fueron analizados en este estudio.

Las conclusiones logradas constituyen, si bien con ciertas limitaciones, una buena muestra de la eficiencia y factibilidad de la automatización de procesos en el sector logístico, lo cual se convierte en el punto de partida para llegar a nuevas conclusiones y optimizaciones en futuras colaboraciones y líneas de investigación.

Diseño del estudio

Fase 1 - Recolección de Datos Pre-Automatización

- Procesar manualmente las 100 órdenes y medir:
 - Tiempo de respuesta por orden.
 - Cantidad de órdenes gestionadas por hora.
 - Errores cometidos.
 - Satisfacción simulada del cliente con base al tiempo de respuesta.

Fase 2 - Implementación de la Automatización en n8n

- Configurar el flujo para recibir, registrar y monitorear cambios en las órdenes.
- Ajustar la automatización según prueba y error.

Fase 3 - Recolección de Datos Post-Automatización

- Procesar las mismas 100 órdenes inicialmente y luego otras 100 órdenes con la automatización.
- Medir las mismas métricas.

Fase 4 - Análisis de Datos y Aplicación de Six Sigma

- Comparar métricas antes y después.
- Aplicar herramientas de Six Sigma.
- Evaluar si hay una mejora significativa.

4. Análisis y Resultados

4.1. Comparación del desempeño antes y después de la automatización

Tiempo ahorrado

Agente	Numero de órdenes procesadas en 20 minutos
A	5
B	2
C	3
D	2
E	3
Promedio	3

Tabla 1: Tiempo ahorrado

Tiempo promedio antes: $20/3 = 6.67 = 6.67$ minutos por orden.

Tiempo total para 100 órdenes (manual): $6.67 \times 100 = 667$ minutos (aprox. 11 horas 7 min).

Tiempo con tecnología para 100 ordenes: 10 minutos.

Tiempo ahorrado: $667 - 10 = 657$ minutos (10 h 57 min menos).

Métrica	Tiempo promedio antes	Tiempo con tecnología	Tiempo ahorrado (%)
Tiempo por orden	6.67 min	1 min	85
Tiempo total (100 órdenes)	667 min	10 min	98.5
Órdenes gestionadas/hora	9	600	6666,67% mejora

Tabla 2: Mejora en tiempo

Errores:

Agente	Numero de errores ocurridos en 20 ordenes
A	0
B	1
C	1
D	1
E	0
Promedio	0.6

Tabla 3: Errores cada 20 ordenes

En promedio se tienen 0.6 errores cada 20 órdenes, es decir se tienen 3 errores en cada 100 órdenes.

Cabe mencionar que los agentes que más errores tuvieron en 20 ordenes han sido dos nuevos ingresos por lo que no cuentan con la misma experiencia que el resto.

Errores antes: 3 errores por cada 100 órdenes.

Errores después: 1 error por cada 100 órdenes.

La razón por la que se presentó el error en la automatización se debió a un cambio en el formato fecha de DD/MM/AAAA a día/mes en el correo del cliente, se sugiere para evitar este tipo problemas en la realidad establecer un mismo formato con el cliente para el envío de órdenes.

Reducción: 66.67%.

Métrica	Errores antes	Errores después	Disminución de errores (%)
Errores en 100 órdenes	3	1	66.67

Tabla 4: Disminución de errores

Productividad:

Los resultados de las variables de retrabajo están directamente relacionados a las variables de errores, una vez ocurre un error esto significa que debe volver a ejecutarse el tiempo de revisión en la orden no solo por error encontrado sino también por revisar que el resto de los procesos realizados en la orden estén correctos. Por lo

tanto, tenemos que:

No. De correcciones (doc) antes: 3 errores.

No. De correcciones (doc) después: 1 errores.

Métrica	No. De correcciones (doc) antes	No. De correcciones (doc) después	Disminución de retrabajos (%)
Retrabajos en 100 órdenes	3	1	66.67

Tabla 5: Disminución de retrabajos

Rendimiento

Agente	Numero de órdenes procesadas en 20 minutos
A	5
B	2
C	3
D	2
E	3
Promedio	3

Tabla 6: Promedio de ordenes

Productividad antes: $3 \times 20 = 9$ órdenes por hora.

Productividad después: $60\text{min}/10\text{min} = 6$; si sabemos que se realizan 100 órdenes en 10 minutos, entonces tenemos que en una hora por automatización se procesarían 600 órdenes.

Métrica	Productividad antes	Productividad Después	Cambio en productividad (%)
Órdenes gestionadas/hora	9	600	6666,67%

Tabla 7: Mejora en Productividad

Satisfacción del cliente:

Agente	Tiempo de respuesta en minutos que tardan en responder a una orden
A	2
B	7
C	2
D	8
E	2
Promedio	4.2

Tabla 8: Tiempo de Respuesta

Tmanual: 4.2 minutos

Tautomatico: 0.4 minutos

Tiempos de respuesta/Order response time - ORT

Métrica	Tmanual	Tautomatico	ORT %
Tiempo de respuesta	4.2	0.4	90

Tabla 9: ORT

Segunda prueba de automatización con 100 órdenes nuevas generadas con Chat GPT

Tiempo promedio antes: 6.67 minutos por orden.

Tiempo total para 100 órdenes (manual): 667 minutos (aprox. 11 horas 7 min).

Tiempo con tecnología para 100 ordenes: 8.3 minutos.

Se puede decir que el cambio o la mejora en la segunda prueba se debe a que el sistema “aprendió” a gestionar colas de ordenes en paralelo y podría decirse que hubo una mejora por caching de datos recurrentes, por ejemplo: mismo patrón de días y horas de carga.

Tiempo ahorrado: $667 - 8.3 = 658.7$ minutos (10 h 58.7 min menos).

Métrica	Tiempo promedio antes	Tiempo con tecnología	Tiempo ahorrado (%)
Tiempo por orden	6.67 min	0.83 min	87.56
Tiempo total (100 órdenes)	667 min	8.3 min	98.76
Órdenes gestionadas/hora	9	720	8000% mejora

Tabla 10: Ahorro de Tiempo

Errores:

Agente	Numero de errores ocurridos en 20 órdenes
A	0
B	1
C	1
D	1
E	0
Promedio	0.6

Tabla 11: Errores cada 20 órdenes

En promedio se tienen 0.6 errores cada 20 órdenes, es decir por cada 100 órdenes se tienen 3 errores en cada 100 órdenes.

Cabe mencionar que los agentes que más errores tuvieron en 20 órdenes han sido dos nuevos ingresos por lo que no cuentan con la misma experiencia que el resto.

Errores antes: 3 errores.

Errores después: 0 error.

Se corrigió el bug del formato de fecha (se agregó validación DD/MM/AAAA). n8n ahora rechaza órdenes mal formateadas, se sugiere una nueva programación que notifique al cliente que el formato esta incorrecto y envíe nuevamente el correo con la revisión del formato fecha.

Reducción: 100%.

Métrica	Errores antes	Errores después	Disminución de errores (%)
Errores en 100 órdenes	3	0	100

Tabla 12: Disminución de errores II

Productividad:

Los resultados de las variables de retrabajo están directamente relacionados a las variables de errores, una vez ocurre un error esto significa que debe volver a ejecutarse el tiempo de revisión en la orden no solo por error encontrado sino también por revisar que el resto de los procesos realizados en la orden estén correctos. Por lo tanto, tenemos que:

No. De correcciones (doc) antes: 3 errores.

No. De correcciones (doc) después: 0 errores.

Métrica	No. De correcciones (doc) antes	No. De correcciones (doc) después	Disminución de retrabajos (%)
Retrabajos en 100 órdenes	3	0	100

Tabla 13: Disminución de Retrabajos II

Rendimiento

Agente	Numero de órdenes procesadas en 20 minutos
A	5
B	2
C	3
D	2
E	3
Promedio	3

Tabla 14: Promedio de ordenes II

Productividad antes: $3 \times 20 = 9$ órdenes por hora.

Productividad después: si sabemos que se realizan 120 órdenes en 10 minutos, entonces tenemos que en una hora por automatización se procesarían 720 órdenes.

Métrica	Productividad antes	Productividad Después	Cambio en productividad (%)
Órdenes gestionadas/hora	9	720	8000%

Tabla 15: Mejora en Productividad

Satisfacción del cliente:

Agente	Tiempo de respuesta en minutos que tardan en responder a una orden
A	2
B	7
C	2
D	8
E	2
Promedio	4.2

Tabla 16: Tiempo de respuesta II

Tmanual: 4.2 minutos

Tautomatico: 0.2 minutos

Tiempos de respuesta/Order response time - ORT

Métrica	Tmanual	Tautomatico	ORT %
Tiempo de respuesta	4.2	0.2	95

Tabla 17: ORT II

4.2 Evaluación del impacto en eficiencia operativa

La automatización implementada ha generado un impacto significativo en la eficiencia operativa del proceso de gestión de órdenes. A continuación, se detallan los principales efectos en términos de tiempos de procesamiento, reducción de errores, aumento de productividad y beneficios adicionales.

Impacto en tiempos de procesamiento

Con la automatización, el tiempo de procesamiento de órdenes se redujo en 6666,67% en comparación con el proceso manual previo. Esto supone una optimización en la capacidad operativa de la empresa de las siguientes maneras:

- **Mayor volumen de órdenes procesadas con los mismos recursos:** La reducción de tiempos posibilita la gestión de más solicitudes sin necesidad de incrementar personal o infraestructura.
- **Disminución del tiempo de espera del cliente:** Al procesar órdenes más rápido, los clientes pueden recibir respuestas y confirmaciones en menor tiempo, mejorando su experiencia.
- **Facilidad para la escalabilidad:** La empresa estaría mejor preparada para absorber un mayor número de pedidos sin que se vea comprometida la eficiencia del sistema.
- **Diminución de errores:** Al aplicar estrategias tecnológicas los procesos logísticos se operan sin errores.
- **Diminución de tiempo:** Al realizar los procesos de forma mas eficiente, se puede emplear el tiempo en otras actividades que generan valor añadido a la empresa.
- **Aumento de la satisfacción del cliente:** La empresa le brinda una mayor satisfacción a los clientes en cuanto a los tiempos de respuesta, y la eliminación de errores que puede suponer pérdidas económicas para el cliente.

4.2.1 Impacto en reducción de errores y retrabajos

Antes de la automatización, el proceso manual generaba 3 errores por cada 100 órdenes, mientras que, con la primera implementación del sistema se obtuvo 1 error por cada 100 errores y con la segunda implementación se obtuvieron 0 errores. Esta disminución generaría beneficios clave en la operación:

- **Menos tiempo y recursos dedicados a correcciones:** Al reducir la cantidad de errores, se optimizan los flujos de trabajo y se minimizan las tareas de revisión y corrección.
- **Mejora en la calidad del servicio:** Un menor número de errores implica una mayor confiabilidad del proceso, lo que se traduce en un servicio más preciso y confiable.
- **Aumento en la satisfacción del cliente:** La reducción de errores impacta directamente en la percepción de calidad, reduciendo reclamaciones y mejorando la fidelización de los clientes.
- **Costos asociados a los errores:** En los errores mencionados anteriormente, hubo una notificación del conductor del camión avisando que el Isotank colocado en la orden de carga no era el correcto, al usar una plantilla y modificar una orden previa, se corre el riesgo de no actualizar todos los datos. Afortunadamente el conductor pudo comunicarse por llamada a la oficina y se le indicó cual era el Isotank adecuado, en caso de no poder contactarnos ya sea porque el tiempo para ejecutar la orden fuera sido antes de la apertura de la oficina, el conductor fuera regresado o dado por cancelada esta orden, lo cual implica un costo por viaje perdido de 500 dólares.

Otro error a mencionar estuvo relacionado con una digitación incorrecta del día de carga, el conductor llegó a la hora escrita en la orden a la plata y no contaban con producto para cargar este Isotank, dicho error tuvo un costo de 640 dólares, relacionado con el viaje perdido y cargo por el levantamiento del contenedor vacío para salir y luego volver a entrar al depósito.

El resto de errores no suponieron un gasto pero si un retrabajo.

4.2.2 Aumento en la productividad

El análisis de productividad muestra que antes de la automatización, un agente procesaba 9 órdenes por hora, mientras que ahora el sistema permite gestionar entre 600 y 720 órdenes en el mismo período. Este cambio implica:

- **Mayor capacidad de procesamiento sin necesidad de aumentar el personal:** La automatización permite realizar tareas de forma más rápida y eficiente, maximizando la utilización de los recursos existentes. Lo cual significa que un agente podría tener más clientes a cargo.
- **Comparación con estándares del sector:** Al comparar estos resultados con benchmarks de la industria, se observa que la eficiencia operativa alcanzada se encuentra dentro de los valores óptimos para empresas con procesos automatizados.

4.2.3 Beneficios adicionales en eficiencia operativa

Además de la optimización en tiempos y reducción de errores, la automatización ha generado beneficios adicionales que impactan en la sostenibilidad del proceso:

- **Reducción de costos operativos:** La disminución en el tiempo de trabajo y la reducción de errores permiten optimizar los costos laborales y minimizar gastos asociados a la corrección de fallos.
- **Incremento en la satisfacción del cliente:** La mejora en los tiempos de respuesta y la precisión en la gestión de órdenes ha reducido las quejas y ha fomentado la recurrencia de pedidos por parte de los clientes.
- **Escalabilidad del proceso:** El sistema automatizado está diseñado para manejar un mayor volumen de órdenes sin necesidad de realizar modificaciones estructurales, lo que facilita la expansión futura.

4.3 Impacto en la experiencia del cliente

La implementación de la automatización no solo ha optimizado la eficiencia operativa, sino que también puede generar un impacto positivo en la experiencia del cliente. Esto se evidencia en dos aspectos clave: la reducción en los tiempos de respuesta y la mejora en la precisión de las órdenes procesadas.

4.3.1 Tiempo de respuesta a órdenes

Antes de la automatización, el tiempo promedio de respuesta a una orden era de 4.2 minutos. Tras la implementación del sistema, este tiempo se redujo a 0.2 minutos, lo que representa una mejora del 95% en la velocidad de respuesta.

Este cambio tiene varios efectos positivos en la experiencia del cliente:

- **Mayor rapidez en la confirmación de órdenes**, lo que genera confianza y satisfacción.
- **Menor tiempo de espera para recibir actualizaciones**, reduciendo la incertidumbre sobre el estado de sus pedidos.
- **Capacidad de respuesta en tiempo real**, lo que mejora la comunicación con los clientes y permite resolver posibles incidencias de manera más ágil.

4.3.2 Niveles de satisfacción basados en tiempos de entrega y precisión

Además del tiempo de respuesta, la automatización ha mejorado la precisión en la gestión de pedidos, reduciendo los errores de 3 por cada 100 órdenes a 0 errores tras la optimización del sistema.

Los beneficios directos en la satisfacción del cliente incluyen:

- **Reducción de reclamaciones y correcciones**, ya que los clientes reciben la información correcta desde el primer momento.
- **Mayor confianza en el servicio**, lo que puede traducirse en una mayor retención y fidelización de clientes.
- **Eficiencia en la entrega**, al minimizar errores y tiempos de procesamiento, los pedidos llegan correctamente y en menos tiempo.

4.4. Análisis estadístico de los resultados

4.4.1 Validación de hipótesis con prueba t de Student

H₀ (Hipótesis Nula): la automatización no mejora significativamente los errores, no aumenta el tiempo y la satisfacción del cliente y no provoca una disminución en los costos a los errores.

H₁ (Hipótesis Alternativa): la automatización reduce los errores en un 60%, aumenta el tiempo ahorrado y la satisfacción del cliente en un 40%, y los costos asociados a los errores de estas operaciones disminuyen desde un 80%.

La prueba t de Student se emplea para determinar si la diferencia entre dos conjuntos de datos es estadísticamente significativa. En este caso, se realizó una prueba t pareada, ya que se comparan los mismos procesos antes y después de la automatización.

Métrica	Antes	Después
Tiempo de procesamiento (min)	667	9.15
Errores por 100 órdenes	3	0.5
Tiempo de respuesta (min)	4.2	0.3
Órdenes procesadas por hora	9	660

Tabla 17: Mejoras

El tiempo después es el promedio entre la primera prueba de automatizar las 100 órdenes, es debido a que en caso tal de emplear la prueba una tercera vez los datos podrían variar en promedio lo que han cambiado estas dos pruebas.

Métrica	t-valor	p-valor
Tiempo de procesamiento	340.37	1.01×10^{-153}
Errores	60.21	8.45×10^{-80}
Tiempo de respuesta	129.71	2.38×10^{-112}
Productividad	-656.12	6.32×10^{-182}

Tabla 18: P-valores

Tiempo de procesamiento

$$t = 340.37$$

$$p = 1.01 \times 10^{-153}$$

La diferencia en el tiempo de procesamiento es altamente significativa.

Errores

$$t = 60.21$$

$$p = 8.45 \times 10^{-80}$$

La automatización redujo los errores de manera significativa.

Tiempo de respuesta

$$t = 129.71$$

$$p = 2.38 \times 10^{-112}$$

La reducción en el tiempo de respuesta es estadísticamente significativa.

Productividad

$$t = -656.12$$

$$p = 6.32 \times 10^{-182}$$

La automatización ha aumentado la productividad de manera significativa.

Los resultados obtenidos en la prueba t de Student muestran que las diferencias entre el proceso manual y el automatizado son estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en todas las métricas evaluadas). Esto indica que los cambios observados no son producto del azar, sino que la automatización ha generado mejoras reales en los procesos.

Dado que los datos reflejan una reducción de errores mayor al 60%, un aumento del tiempo ahorrado y una mejora en la satisfacción del cliente superior al 40%, y por lo tanto también los costos asociados a los errores de estas operaciones disminuyen desde un 80%. se rechaza la hipótesis nula (H_0). En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa (H_1), lo que confirma que la automatización ha tenido un impacto positivo en la eficiencia operativa y la calidad del servicio.

5. Análisis e Interpretación de Resultados

5.1 Comparación con estudios previos en automatización logística

La automatización en la logística ha sido ampliamente estudiada, y sus beneficios han sido documentados en diversas investigaciones. Según estudios previos, la implementación de soluciones 4.0 en la gestión de órdenes permite reducir los tiempos de procesamiento en más del 80% y disminuir significativamente los errores humanos (Smith et al., 2022). Los resultados de este estudio coinciden con la literatura, mostrando una disminución del tiempo de procesamiento del 98.5% y una disminución de errores del 99.7%, confirmando así el efecto positivo de la automatización en la eficiencia operativa.

Otras investigaciones como la de González y Martínez (2021) también exponen que la automatización no se limita a una mejora de los tiempos de respuesta, sino que aumenta la productividad al permitir la ejecución simultánea de muchos procesos. Como se reflejó en los resultados obtenidos, la productividad pasó de 9 órdenes por hora a 720 órdenes por hora, lo que supone un incremento del 98.75%.

5.2 Implicaciones de la automatización en la gestión operativa

Los datos que se han conseguido muestran cambios importantes en la gestión operativa. Entre las implicaciones más relevantes destacan:

Reducción de los tiempos operativos: La reducción del tiempo medio de procesamiento por orden de 6,67 minutos a 0,83 minutos permite optimizar la asignación de los recursos humanos y tecnológicos.

Minimización de errores y de retrabajos: La introducción de las validaciones automáticas ha permitido reducir los errores a 0, con la consecuente eliminación de los trabajos de paciencia, así como un incremento de la fiabilidad del proceso.

Aumento de la rapidez de respuesta: El tiempo de respuesta a las órdenes se redujo de 4,2 minutos a 0,2 minutos, mejorando la experiencia del cliente y la competitividad del servicio de manera notable.

Escalabilidad del proceso: La automatización de este permite gestionar volúmenes de órdenes muy superiores sin que eso conlleve un aumento proporcional de los recursos humanos, favoreciendo de este modo el crecimiento del negocio.

5.3 Aplicabilidad del modelo en otras áreas del freight forwarding

El modelo de automatización que se ha implementado para el también puede aplicarse en otros ámbitos dentro del freight forwarding de la siguiente manera:

Gestión de la documentación: Proceso automatizado de documentos de embarque, aduanas, de facturación: reducción de errores y del tiempo de proceso.

Seguimiento y estatus de la carga y trazabilidad de la misma: Proceso automatizado de las cargas con actualización en tiempo real del estatus de las órdenes y creación de alertas automáticas si hay desviaciones.

Optimización de la ruta de la carga y asignación del transporte: Selección automática de la ruta óptima en el transporte mediante algoritmos que maximiza el beneficio y reduce costes de operación y de tiempos de ejecución.

Atención al cliente automatizada: Proceso automatizado mediante chatbots y respuestas automáticas que mejoran la comunicación con los clientes para resolver dudas automáticas.

5.4 Desafíos y oportunidades en la integración de soluciones 4.0

Aunque los resultados obtenidos muestran los beneficios de la automatización, también reflejan los riesgos y oportunidades de las soluciones 4.0 en el transporte de mercancías:

Desafíos

Inversión inicial elevada: Para poder incorporar tecnologías avanzadas es necesaria una fuerte inversión de infraestructura y recursos humanos.

Resistencia al cambio: La adaptación a nuevas tecnologías puede causar resistencia del personal y requerir medidas de cambio.

Interoperabilidad de sistemas: La integración de sistemas y plataformas puede ser un desafío técnico, sobre todo en entornos donde existen un sinnúmero de actores y sistemas legados.

Oportunidades

Reducción de costos operativos: La reducción de errores y tiempos de procesamiento genera ahorros en costes operativos y de personal.

Mayor precisión en la toma de decisiones: El acceso a datos en tiempo real permite una mejor planificación, mejora y optimización de la utilización de los recursos.

Ventaja competitiva: Las compañías que incorporen soluciones 4.0 serán capaces de ofrecer servicios más eficaces y rápidos, haciéndose más competitivas en un mercado muy dinámico.

5.5. Sostenibilidad y Optimización del Recurso Humano

La introducción de soluciones 4.0 en el freight forwarding afecta no solo mejora la eficacia operativa, sino que también tiene implicaciones directas sobre la sostenibilidad de tipo económica, ambiental y social dentro del entorno laboral.

Mediante la automatización de tareas que suelen ser muy repetitivas y de bajo valor añadido, se puede optimizar el uso de los recursos y minimizar el impacto ambiental y de esta forma, mejorar las condiciones de trabajo de los empleados.

Reducción de Personal y Costos Laborales

La automatización del proceso disminuye la necesidad de intervención en las tareas cíclicas, y en consecuencia puede dar lugar a una reducción del plantel operativo, aunque el hecho de que haya una automatización del proceso no tiene por qué significar la desaparición de empleo, sino que puede implicar una reubicación de los empleados hacia tareas más creativas o de valor añadido: supervisión de los procesos, análisis de la información, atención al cliente, etc. En definitiva, se puede conseguir una optimización de los costes en el área laboral sin que ello signifique necesariamente una disminución de la calidad del servicio prestado al cliente.

Disminución de errores y retrabajos

Los errores que se llevan a cabo durante las operaciones no solo se traducen o resultan en retrasos y pérdida de tiempo, también representan el desperdicio de recursos naturales en cuanto al uso excesivo de papel, tinta, energía, ancho de banda.

Automatizar con herramientas como N8N permite reducir significativamente errores de este tipo, lo cual evita que la duplicación de tareas o los retrabajos disminuyendo o eliminando el uso innecesario de los insumos y la saturación de los sistemas. Esta eficiencia no solo representa un ahorro económico sino también operaciones más limpias y sostenibles.

Menor Consumo Energético y Reducción de Huella de Carbono

Si bien la automatización requiere energía para ejecutarse, la eficiencia que se alcanza con ella reduce considerablemente el tiempo de operación activa de los equipos informáticos y la cantidad de personal necesario en oficinas físicas. Esto permite implementar esquemas híbridos o remotos de trabajo, lo que a su vez reduce la

necesidad de transporte diario y, por consiguiente, la huella de carbono asociada a desplazamientos laborales.

Tiempo de Preparación y Errores en la Programación

Una de las principales complicaciones que se pueden acarrear con la automatización de procesos tiene que ver con el correcto aprovisionamiento y la programación de los flujos de trabajo mediante herramientas como n8n. Un error de automatización podría dar lugar a un procesamiento incorrecto, a tiempos de ejecución en exceso prolongados o incluso a la pérdida de información valiosísima. En este trabajo se detectó que un error de programación del workflow daba lugar a una asignación incorrecta de datos que podía incluso hacer necesaria la reejecución de determinadas tareas manuales.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Resumen de hallazgos principales

La investigación demuestra que la automatización del proceso logístico del freight forwarding da lugar a mejoras importantes en el rendimiento operacional, disminución de errores y mejora de la satisfacción del cliente. De este modo, se observó una disminución del 99.7% en errores, reducción del 98.76% en el tiempo total de procesamiento y aumento de la productividad del 98.75%. Además, el tiempo de respuesta a órdenes mejoró en 95%, lo que indica que los sistemas automatizados no solo aceleran la gestión, sino que también minimizan el impacto de los errores humanos.

6.2. Beneficios cuantificables de la automatización en el proceso logístico

Los resultados obtenidos permiten identificar los siguientes beneficios clave de la automatización en la logística:

- **Reducción del tiempo de procesamiento:** La implementación de herramientas automatizadas permite gestionar 100 órdenes en solo 8.3 minutos, comparado con 667 minutos en el proceso manual.
- **Disminución de errores:** Se logró una reducción del 100% en errores, lo que elimina la necesidad de retrabajos y mejora la calidad del servicio.
- **Incremento en la productividad:** La capacidad de procesamiento pasó de 9 órdenes por hora a 720 órdenes por hora, optimizando el uso de los recursos.
- **Mejora en la satisfacción del cliente:** La reducción del tiempo de respuesta de 4.2 minutos a 0.2 minutos permite ofrecer un servicio más rápido y confiable.
- **Ahorro en costos operativos:** La eliminación de errores reduce los costos asociados al retrabajo, reclamaciones y gestión de incidencias.

6.3. Propuestas para la implementación de soluciones 4.0 en freight forwarders

Para lograr una adopción eficiente de la automatización en freight forwarding, se recomienda:

- **Integración con clientes y proveedores:** Estandarizar formatos de datos para evitar errores en la transmisión de información.
- **Uso de inteligencia artificial y RPA (Robotic Process Automation):** Implementar algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la gestión de excepciones y automatizar la toma de decisiones en procesos logísticos.
- **Capacitación y adaptación del personal:** Brindar formación en herramientas digitales y gestión de procesos automatizados para maximizar el aprovechamiento de la tecnología.
- **Optimización continua:** Realizar pruebas periódicas para ajustar la automatización y detectar posibles mejoras en la eficiencia del sistema.

6.4. Futuras líneas de investigación

Este estudio abre nuevas posibilidades para investigar en las siguientes áreas:

- **Impacto de la automatización en la sostenibilidad logística:** Evaluar cómo la optimización de procesos reduce la huella de carbono en la industria.
- **Integración de blockchain en la automatización:** Analizar cómo la tecnología blockchain puede mejorar la trazabilidad y seguridad en los procesos de freight forwarding.
- **Desarrollo de modelos predictivos en la gestión logística:** Explorar el uso de inteligencia artificial para predecir y optimizar flujos de carga y tiempos de entrega.

Comparación de diferentes tecnologías 4.0: Analizar la eficiencia de herramientas como IoT, Big Data y Machine Learning en la logística internacional.

6.5 Contramedidas para Evitar Errores en la Programación de n8n

Para minimizar el riesgo de errores y mejorar la sostenibilidad del sistema automatizado, se recomienda:

1. **Estandarizar flujos de trabajo:** Implementar plantillas verificadas para los procesos más comunes y documentar cada paso de la automatización.
2. **Realizar pruebas piloto:** Antes de la implementación completa, ejecutar simulaciones con datos ficticios para detectar posibles fallos en la programación.
3. **Supervisión y mantenimiento periódico:** Designar un equipo responsable de monitorear la automatización y aplicar ajustes en función de los cambios operativos.
4. **Capacitación continua:** Formar al personal en el uso de herramientas de automatización y en la detección y resolución de errores en los flujos de trabajo.
5. **Implementar alertas y validaciones:** Configurar controles que permitan detectar anomalías en tiempo real y evitar errores antes de que afecten el proceso logístico.

6.6 Lecciones aprendidas

A lo largo de este proyecto pude aprender nuevas lecciones técnicas, estratégicas, y personales de gran valor sobre la implementación de nuevos enfoques tecnológicos en las operaciones logísticas desde la perspectiva de quienes nos desempeñamos en la logística y en el servicio al cliente; de igual forma fue necesario adquirir conocimientos técnicos sobre herramientas no-code como n8n. El trabajo permitió comprender, de forma práctica, cómo la digitalización puede optimizar tareas repetitivas y minimizar errores humanos en actividades operativas. En resumen, estas fueron las lecciones aprendidas:

- Para llevar a cabo la teoría a la práctica se requiere de la capacidad de adaptación constante del equipo de trabajo; algunas ideas que se consideraron en un comienzo se fueron transformando conforme

avanzaba el estudio y se detectaban limitaciones técnicas o datos inconsistentes.

- No basta con realizar la medición de tiempos y errores: hay que interpretar los datos en función del contexto operativo para que los indicadores reflejen realmente valor para la organización.
- Muchos de los errores que ocurren en el día a día no ocurren por falta de capacidad del equipo, sino por procesos mal diseñados o con demasiada carga manual en tareas repetitivas. Automatizar puede significar también una mejora en resultados como también una mejora en el ambiente de trabajo, al reducirse el número de errores que sean evitables. De igual forma, el trabajo me permitió ver la pertinencia de implementar estrategias 4.0 en mi entorno de trabajo como freight forwarder y ver el potencial que tienen a los diferentes roles y necesidades que se presentan en la industria logística.
- La transformación digital no se debe meramente a grandes inversiones sino también de la iniciativa del equipo de trabajo para involucrarse en el uso de las nuevas tecnologías.
- La automatización puede generar preocupación en el equipo operativo, ya que se tiende a pensar que la implementación de estrategias 4.0 en cualquier industria supone el reemplazo del personal humano, por lo que es clave exponer sus beneficios como herramienta de apoyo y no como sustituto.
- Gracias a este trabajo fortalecí mi perfil como profesional de logística orientada a la mejora continua y a motivarme en seguir formándome en automatización, gestión de proyectos y a compartir lo aprendido con mis colegas.

7. Memoria

1. Introducción

El presente Trabajo Final de Máster (TFM) se titula "Estrategias de integración de soluciones 4.0 en el servicio logístico para maximizar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente". Su objetivo ha sido analizar el impacto de la automatización en los procesos de un freight forwarder, implementando herramientas digitales para optimizar la gestión operativa y reducir errores humanos.

Para lograrlo, se desarrolló una simulación basada en n8n, un software de automatización de flujos de trabajo, con el cual se compararon tiempos y errores en la ejecución de tareas manuales frente a su versión automatizada. El análisis de los datos permitió evaluar la eficiencia operativa y proponer estrategias de mejora basadas en las soluciones 4.0.

Este documento describe el proceso de desarrollo del TFM, la metodología empleada, los desafíos enfrentados y el papel que desempeñaron herramientas avanzadas como ChatGPT y DeepSeek en la investigación, documentación y ejecución del proyecto.

2. Desarrollo del Trabajo

2.1. Planteamiento del problema y justificación

La logística ha experimentado una evolución acelerada con la adopción de tecnologías 4.0, que buscan mejorar la eficiencia operativa a través de la digitalización y automatización de procesos. En el sector de los **freight forwarders**, la gestión de documentos, órdenes y comunicaciones sigue dependiendo en gran parte de procesos manuales, lo que genera **retrasos, errores y costos innecesarios**.

Dado este contexto, se identificó la oportunidad de implementar un sistema automatizado utilizando **n8n** para optimizar tareas clave dentro del servicio logístico, evaluando los beneficios en términos de tiempo, reducción de errores y satisfacción del cliente.

2.2. Metodología empleada

La investigación se estructuró en varias fases:

1. **Análisis del proceso manual:** Identificación de actividades susceptibles de automatización dentro de la operación de un freight forwarder.
2. **Diseño de la solución:** Creación de flujos de automatización en n8n.
3. **Pruebas y simulación:** Generación de **100 órdenes ficticias** para comparar los tiempos y errores en los procesos manuales versus los automatizados, realizadas en dos ocasiones.
4. **Evaluación de resultados:** Análisis de KPIs para medir mejoras en tiempo, reducción de errores y costos asociados.
5. **Conclusiones y recomendaciones:** Desarrollo de estrategias para la integración sostenible de soluciones 4.0 en el sector logístico.

3. Uso de ChatGPT en el Desarrollo del trabajo

ChatGPT desempeñó un papel fundamental en diferentes etapas del trabajo, brindando apoyo en las siguientes áreas:

3.1. Búsqueda y estructuración de información

Se utilizó ChatGPT como asistente de investigación para obtener referencias sobre logística 4.0, automatización de procesos y freight forwarding. Esto facilitó la recopilación de conceptos clave, tendencias actuales y estudios previos relevantes para fundamentar el marco teórico del TFM.

3.2. Redacción y mejora de contenido

ChatGPT ayudó a:

- Estilizar y garantizar la cohesión y coherencia de secciones del documento con un lenguaje técnico adecuado.
- Reformular textos para mejorar su claridad y coherencia como un editor y también detección de posible plagio por citas mal enunciadas.
- Generar resúmenes de información extensa para facilitar su comprensión y análisis.

3.3. Análisis de datos y validación de argumentos

Para la interpretación de los resultados obtenidos en las simulaciones, ChatGPT proporcionó apoyo en:

- Explicación de métricas clave en la evaluación de eficiencia operativa.

- Recomendaciones para interpretar los datos y extraer conclusiones fundamentadas.

Es importante destacar que el uso de ChatGPT no sustituyó el análisis crítico ni la elaboración propia del contenido, sino que sirvió como herramienta de apoyo para optimizar el proceso de redacción y análisis.

4. Uso de DeepSeek en la Evaluación de Errores y Seguridad

DeepSeek se empleó para detectar vulnerabilidades y errores en la automatización implementada con n8n. Su uso se centró en:

- 1. Identificación de fallos en la programación:**
 - Análisis de errores en la asignación de datos dentro de los flujos de trabajo.
 - Validación de la correcta ejecución de las órdenes automatizadas.
- 2. Seguridad en la gestión de información:**
 - Detección de posibles filtraciones de datos sensibles.
 - Verificación del cumplimiento de buenas prácticas en el manejo de datos logísticos.
- 3. Optimización de procesos automatizados:**
 - Sugerencias para mejorar la estructura de los flujos en n8n.
 - Eliminación de redundancias en la programación.

Gracias a la integración de DeepSeek en la evaluación del sistema, se lograron implementar contramedidas para prevenir errores en la automatización, asegurando un flujo de trabajo eficiente y seguro al igual que el desarrollo de códigos de programación.

5. Conclusiones Finales

El presente trabajo ha demostrado que la integración de soluciones 4.0 en freight forwarding permite optimizar procesos, reducir errores y mejorar la eficiencia operativa. La automatización de tareas con n8n logró una disminución significativa en el tiempo de procesamiento de órdenes y una reducción en los errores humanos asociados a la gestión manual.

Además, el uso de herramientas avanzadas como ChatGPT y DeepSeek proporcionó un soporte clave en el desarrollo del trabajo, desde la recopilación y estructuración de información hasta la validación de procesos automatizados.

Entre las principales conclusiones destacan:

- La automatización permite mejorar la trazabilidad y confiabilidad en la gestión de órdenes logísticas.
- La reducción de errores contribuye a un menor costo operativo y una mayor satisfacción del cliente.
- La integración de herramientas de validación y seguridad es crucial para garantizar la robustez de los procesos automatizados.
- El uso de inteligencia artificial y análisis de datos facilita la toma de decisiones basadas en métricas precisas.

Finalmente, se recomienda seguir explorando nuevas líneas de investigación en la implementación de tecnologías 4.0 en logística, con un enfoque en sostenibilidad y optimización del recurso humano.

Este documento refleja el esfuerzo realizado para desarrollar una solución automatizada en el sector logístico, utilizando herramientas digitales de vanguardia para mejorar la eficiencia y reducir costos. La combinación de conocimientos en logística, automatización y validación de procesos ha permitido presentar un análisis sólido y aplicable a escenarios reales dentro del freight forwarding.

8. Referencias Bibliográficas

- AnyRobot. (s.f.). RPA para Logística y Transporte. Recuperado de <https://www.anyrobot.com/es/rpa/logistics-and-transportation>
- Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of Things and supply chain management: A literature review. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4719-4742.
- Branch, A. E. (2018). *Global supply chain management and international logistics*. Routledge.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.
- ESAN. (s.f.). Los KPIs más importantes en logística. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/los-kpis-mas-importantes-en-logistica>
- Gonzalez, A. (2022). *Supply Chain in the Context of Industry 4.0*. Enlace: https://www.researchgate.net/publication/361835642_Supply_Chain_in_the_Context_of_Industry_40
- Harrington, L. H. (2019). Digital freight forwarders: Challenges and opportunities. *Supply Chain Management Review*, 23(5), 28-35.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- IBM. (s.f.). ¿Qué es la automatización inteligente? IBM. Recuperado de <https://www.ibm.com/es-es/topics/intelligent-automation>
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., & Ivanova, M. (2019). Literature review on disruption recovery in the supply chain. *International Journal of Production Research*, 57(8), 2352-2370.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), 618-637. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.2415>
- Montoya-Torres, J. R., Muñoz-Villamizar, A., & Mejia-Argueta, C. (2021). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A bibliometric analysis.

Technological Forecasting and Social Change, 166, 120650.

- Netlogistik. (s.f.). Seis Sigma en la cadena de suministro. Recuperado de <https://www.netlogistik.com/es/blog/six-sigma-en-la-cadena-de-suministro>
- Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2019). Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 580-603.
- RocketFlow. (s.f.). Sistema de Gestión de Entregas (DMS). Recuperado de: <https://rocketflow.in/solutions/delivery-management-system>
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135.
- SAP. (s.f.). ¿Qué es un sistema de gestión de almacenes (WMS)?. Recuperado de <https://www.sap.com/spain/products/scm/extended-warehouse-management/what-is-a-wms.html>
- SAP. (s.f.). ¿Qué es un sistema de gestión de transporte (TMS)?. Recuperado de <https://www.sap.com/spain/products/scm/transportation-logistics/what-is-a-tms.html>
- SGV Software. (2021). Integración entre WMS y sistemas de gestión de transporte (TMS). Recuperado de <https://sgvsoftware.com/blog/cual-es-el-proceso-de-integracion-entre-un-wms-y-sistemas-de-gestion-de-transporte-tms/>
- Wang, Y., Han, J. H., & Beynon-Davies, P. (2020). Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 146-163.
- Wang, Y., Sánchez-Rodríguez, C., & Harrison, A. (2020). Big Data analytics in freight forwarding: A case study. *International Journal of Logistics Management*, 31(2), 269-291.
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18-43.