

Implementación de mejoras continuas en la cadena de suministro industrial mediante IA (inteligencia artificial) y tecnologías emergentes con enfoque en Lean, Six Sigma Y Kaizen

Dayana Adamary Matallana Castañeda

Leidy Ramos Cubillos

Asesor

Mario Julian Diaz Reyes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Industrial

2025

Resumen

La cadena de suministro industrial está siendo revolucionada por tecnologías avanzadas y herramientas innovadoras, impulsando la automatización, optimización y reducción de desperdicios. Esta monografía propone un modelo de investigación que integra los enfoques Lean, Six Sigma y Kaizen para potenciar la eficiencia operativa, la innovación y la toma de decisiones.

La metodología emplea un análisis investigativo y descriptivo, basado en literatura científica y estudios de caso, esto permite identificar deficiencias clave y evaluar cómo herramientas avanzadas, junto con blockchain, machine learning e Internet de las cosas (IoT), pueden mitigarlas. Se utilizan modelos estadísticos, análisis avanzado de datos y automatización de procesos, por medio de metodologías como Lean Manufacturing, Six Sigma y Kaizen para impulsar la mejora continua.

La optimización de la gestión de inventarios, la automatización de procesos logísticos y la mejora de la toma de decisiones se logran mediante sistemas tecnológicos y analítica avanzada. El estudio incluye casos que evalúan el impacto del modelo mediante indicadores clave de desempeño (KPIs), como la disminución de tiempos y mermas, la mejora en la satisfacción del cliente y la adaptación al mercado. Esta implementación es un avance significativo en la transformación digital y la sostenibilidad de la cadena de suministro.

Esta monografía detalla el proceso de investigación, desde los conceptos hasta los casos de estudio y resultados, ofreciendo información relevante para la ingeniería sobre tecnologías avanzadas y los enfoques Lean, Six Sigma y Kaizen, y su valioso aporte a la cadena de suministro industrial.

Palabras clave: Inteligencia artificial, optimización, automatización, eficiencia, tecnología.

Abstract

The industrial supply chain is being revolutionized by advanced technologies and innovative tools, driving automation, optimization, and waste reduction. This monograph proposes a research model that integrates Lean, Six Sigma, and Kaizen approaches to enhance operational efficiency, innovation, and decision-making.

The methodology employs investigative and descriptive analysis, based on scientific literature and case studies, to identify key deficiencies and evaluate how advanced tools, along with blockchain, machine learning, and the Internet of Things (IoT), can mitigate them. Statistical models, advanced data analysis, and process automation are used, utilizing methodologies such as Lean Manufacturing, Six Sigma, and Kaizen, to drive continuous improvement.

Inventory management optimization, logistics process automation, and improved decision-making are achieved through technological systems and advanced analytics. The study includes cases that evaluate the model's impact through key performance indicators (KPIs), such as reduced lead times and waste, improved customer satisfaction, and market adaptation. This implementation represents a significant advance in the digital transformation and sustainability of the supply chain.

This monograph details the research process, from concepts to case studies and results, offering relevant information for engineering on advanced technologies and Lean, Six Sigma, and Kaizen approaches, and their valuable contributions to the industrial supply chain.

Keywords: Artificial intelligence, optimization, automation, efficiency, technology.

Tabla de contenido

Introducción	13
Justificación	15
Objetivos.....	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Teórico.....	19
Fundamentación Teórica de la Inteligencia Artificial Aplicada a la Cadena de Suministro	19
Qué es la Inteligencia Artificial.....	19
Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Planificación, Control Logístico y Gestión de la Cadena de Suministro.....	22
Enfoque Teórico de las Tecnologías Emergentes del Estudio Aplicadas en la Transformación de la Cadena de Suministro.....	25
Machine Learning (ML)	25
Blockchain.....	29
Internet de las Cosas (IoT).....	35
Soporte Conceptual de los Enfoques Lean, Six Sigma y Kaizen Aplicados en la Cadena de Suministro.	39
Lean Manufacturing	39
Six Sigma.....	44

Kaizen	47
Contextualización de Sostenibilidad y Optimización de los Recursos en la Cadena de Suministro.	48
Ineficiencia Energética y la Gestión de Recursos	49
Economía Circular	50
Sostenibilidad Operativa.....	50
Sustento Teórico de Innovación en la Cadena de Suministro.....	52
Innovación Tecnológica como Eje Central de la Competitividad en la Logística	52
Impacto de la Transformación Digital en el Éxito de la Cadena de Suministro	54
Metodología	57
Marco Inicial de Mejoras Continuas en la Cadena de Suministro Industrial Mediante la Implementacion de IA y Metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen.	57
Evolución de la Gestión de la Cadena de Suministro Industrial	57
Implementación y Beneficios de la Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes en la Cadena de Suministro	59
Interacción entre Lean, Six sigma y Kaizen para la Eficiencia y Mejora de la Optimización de los Procesos.....	60
Inteligencia Artificial Aplicada en la Gestion de la Cadena de Suministro Industrial	63
Principios de la Inteligencia Artificial Aplicados a los Procesos Logísticos y la Manufactura.....	63

Machine Learning Aplicado en la Optimización de Inventarios y Predicción de la Demanda	65
Algoritmos de Optimización Aplicados a la Correcta Toma de Decisiones	69
Impacto de las Tecnologías Emergentes Implementadas en la Cadena de Suministro	73
Aplicación de Blockchain en la Transparencia y Trazabilidad de la Cadena de Suministro.....	73
Automatización Mediante Robótica en los Procesos Logísticos y Almacenes	80
Avance en la Eficiencia Operativa Mediante la Integración de (IoT) Internet de las Cosas.....	82
Identificación de Ineficiencias e Implementación de Oportunidades de Mejora Continua	83
Eliminación de Mermas y Control de Flujo de Valor Mediante Lean Manufacturing.	83
Mejora de los Procesos Logísticos y Reducción de Variabilidad por Medio de Six Sigma	87
Mejora Continua Desarrollada en la Cadena de Suministro a través de Kaizen	91
Relación entre Lean, Six sigma y Kaizen con Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes dentro de la Cadena de Suministro	93
Ejemplos Puntuales de cómo Interactúan estas Técnicas en la Cadena de Suministro Industrial	96
Sostenibilidad Mediante Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro	99

Gestión Eficiente de los Recursos a través de la Inteligencia Artificial y Análisis de Datos	99
Proyecciones Futuras en la Cadena de Suministro	102
La Industria 5.0 en la Gestión Logística de la Cadena de Suministro Industrial	102
Resultados	105
Descripción del Contexto en Estudios de Caso Relevantes Aplicados en la Cadena de Suministro.	105
Caso 1, Interacción entre Metodologías Lean manufacturing y Kaizen en la Sostenibilidad de Procter & Gamble (P&G)	105
Caso 2, Interacción de IA con Machine Learning en la Gestión del Inventario y Demanda en Zara.	107
Caso 3, Implementación de Algoritmos en el Transporte Urbano de Lima Perú....	110
Caso 4, Aplicación del Blockchain en la Trazabilidad en Walmart y Maersk	113
Evaluación de Resultados por Medio De Indicadores Clave.....	116
Indicadores de Medición de Eficiencia, Reducción de Mermas, Impacto en la Sostenibilidad, Innovación y la Toma Correcta de Decisiones Encontrados en los Casos de Estudio	116
Discusión.....	121
Interpretación de Resultados de los Estudios de Casos Planteados Mediante Indicadores de Alto Impacto.....	121
Eficiencia Operativa	121

Reducción de Mermas	121
Sostenibilidad	121
Capacidad en la Innovación y Toma de Decisiones	122
Discusión Puntual de los Resultados en Relación con los Antecedentes Teóricos de los Enfoques de Lean, Six sigma y Kaizen.....	123
Procter & Gamble (Interacción de Lean Manufacturing y Kaizen en la Sostenibilidad).....	123
Zara (Gestión de Inventario y Demanda)	124
Transporte Urbano de Lima, Perú (Implementación de Algoritmos ACO)	125
Walmart y Maersk (Aplicación de Blockchain en la Trazabilidad)	126
Análisis del Valor Teórico/Practico y Presentación de Propuesta de Impacto y Mejora Continua en Base al Modelo Investigativo Desarrollado.....	127
Planteamiento de la Propuesta de la Adaptación de Tecnologías Emergentes y Algoritmos de Inteligencia Artificial a los Equipos Sorter Industriales.....	129
Conclusiones.....	137
Recomendaciones	140
Priorizar la Integración Holística de Metodologías.....	140
Desarrollar una Hoja de Ruta Tecnológica Estratégica	140
Enfocarse en la Calidad y Gobernanza de los Datos.....	141
Promover una Cultura Organizacional de Mejora Continua y Adaptación	141
Establecer Métricas Claras y un Marco de Evaluación de Impacto	141

Considerar la Ciberseguridad y la Ética en la Implementación de Sistemas Avanzados	142
Fomentar la Colaboración y la Estandarización en el Ecosistema de la Cadena de Suministro	142
Referencias.....	143

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparativa Antes y Después de Aplicar las Metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen en la Cadena de Suministro</i>	62
Tabla 2 <i>Aspectos evaluados de la implementación de Lean, Kaizen y la IA en la sostenibilidad de procter & Gamble</i>	106
Tabla 3 <i>Aspectos evaluados de la implementación de IA con machine learning en la gestión de inventario y demanda de ZARA</i>	109
Tabla 4 <i>Aspectos evaluados de la implementación de algoritmos ACO en la gestión del transporte en Lima Perú</i>	112
Tabla 5 <i>Aspectos evaluados de la implementación de Blockchain en la trazabilidad de productos en Walmart y Maersk</i>	115

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Ciclo de la Metodología del DMAIC en Six Sigma</i>	44
Figura 2 <i>Innovación de la Cadena de Suministro</i>	54
Figura 3 <i>Transformación Digital en la cadena de suministro</i>	54
Figura 4 <i>Gestión Inteligente de Inventario y Demanda por Medio de Machine Learning</i>	66
Figura 5 <i>Blockchain en la Trazabilidad y Seguridad de la Cadena de Suministro</i>	79
Figura 6 <i>Beneficios de la Metodología Lean Manufacturing en la Cadena de Suministro</i>	85
Figura 7 <i>Metodología Six Sigma en la optimización de Procesos y Reducción de la Variabilidad</i>	90
Figura 8 <i>Ciclo de la Metodología Kaizen</i>	93
Figura 9 <i>Interacción de Lean Manufacturing, Six Sigma y Kaizen con Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes en la Cadena de Suministro</i>	95
Figura 10 <i>Comportamiento de la Demanda Con Algoritmos de Inteligencia Artificial</i>	97
Figura 11 <i>Comportamiento de Antes y Después de la Implementación de IA en el Transporte de Alimentos Perecederos</i>	98
Figura 12 <i>Top 10 de las Empresas Líderes a Nivel Global que han Adoptado Algoritmos de Inteligencia Artificial y tecnologías Emergentes</i>	131
Figura 13 <i>Sistema Sorter Grupo Éxito</i>	132
Figura 14 <i>Sistema Sorter en Operación Normal sin Automatización</i>	134
Figura 15 <i>Sistema Sorter Automatizado</i>	134

Introducción

En el entorno industrial actual, las empresas enfrentan una serie de dificultades no ajenas a la gestión correcta y proactiva de la cadena de suministros, relacionadas con la obsolescencia de la información, la falta de educación y actualización tecnológica. A pesar de que la tecnología actualmente tiene la capacidad de transformar los procesos logísticos, muchas de las empresas siguen utilizando sistemas tradicionales las cuales no son tan favorables, por lo tanto, el problema central radica en la falta de integración adecuada de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA), junto con metodologías probadas de mejora continua como Lean, Six Sigma y Kaizen.

Estas tecnologías y enfoques han demostrado su efectividad en diversas áreas, pero su adopción en la industria ha tenido un impacto todavía limitado, por ende, ¿Cómo la interacción de las tecnologías emergentes e inteligencia artificial, junto con enfoques como Lean, Six Sigma y Kaizen, pueden optimizar la cadena de suministro industrial, mejorando la eficiencia, reduciendo mermas y aumentando la competitividad empresarial? Este problema plantea una oportunidad para evaluar la interacción entre las tecnologías emergentes y las metodologías tradicionales, analizando cómo estas pueden integrarse eficazmente para resolver los desafíos actuales en la gestión de la cadena de suministro. Es necesario consultar cómo se puede hacer uso eficiente de la inteligencia artificial puede automatizar procesos complejos, predecir demandas y optimizar el buen uso de los recursos, mientras que las metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen pueden ser utilizadas para reducir ineficiencias, reducir mermas y fomentar una cultura organizacional enfocada en la mejora continua.

En este contexto, la presente monografía propone realizar un modelo de investigación donde se relaciona inicialmente los fundamentos teóricos claves de la investigación, dando un enfoque inicial de los conceptos esenciales para el desarrollo del modelo investigativo, luego se amplía la información teniendo en cuenta las bases de conceptos y de acuerdo con los planteamientos teóricos de autores consultados, como se realiza la implementación de mejora continua en la cadena de suministro mediante la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías emergentes (blockchain, machine learning, Internet de las cosas IoT), con enfoques en Lean Manufacturing, Six sigma y Kaizen, fundamentando dicha investigación en resultados de estudios de caso de empresas donde se evidencia dichas mejoras a fin de realizar el análisis e interpretación de los resultados encontrados para así cumplir con el modelo de investigación argumentado conforme a los objetivos planteados, dando solución a la problemática expuesta, alcanzando el potencial de mejorar la eficiencia operativa, también de posicionar una visión clara a las empresas industriales en la optimización y automatización convirtiéndose en una ventaja competitiva, permitiéndoles adaptarse a los cambios cíclicos del entorno global y responder de manera más efectiva a las necesidades del mercado, asegurando el correcto desempeño y el éxito operacional.

Justificación

En el ámbito actual de la industria 4.0, la gestión de la cadena de suministro industrial aborda de manera relevante cambios en la transformación de los procesos logísticos y operativos, que pese a los avances tecnológicos de los últimos años, parte del sector empresarial continúa realizando operaciones bajo modelos tradicionales de trabajo, lo cual condiciona la capacidad de eficiencia, competitividad, optimización, automatización y adaptación en los entornos que a hoy día son altamente dinámicos y proactivos. Esta oposición al cambio se evidencia en los procesos desintegrados, la baja automatización, tiempos de respuesta no óptimos, altos niveles de merma e índices de ineficiencia operacional con poca capacidad para el análisis de datos y por ende limitaciones en la toma de decisiones estratégicas para las operaciones.

Uno de los desafíos principales observados radica en la insuficiente integración de metodologías entre las tecnologías avanzadas y las metodologías de mejora continua, como Lean, Six Sigma y Kaizen. A menudo, herramientas poderosas como el aprendizaje automático, el Internet de las Cosas (IoT) y la tecnología blockchain no se utilizan plenamente en las operaciones diarias que se realizan en la cadena de suministros y en las actividades de los procesos internos y externos. Esto impide capitalizar el verdadero potencial de la transformación digital para una gestión eficiente y sostenible de la cadena de suministro. La interacción de los enfoques de Lean, Six sigma y Kaizen con la inteligencia artificial y tecnologías emergentes en los procesos industriales permite gestionar áreas estratégicas y clave en la cadena de suministro como el pronóstico de la demanda, la planificación eficiente de los recursos, la optimización del inventario, automatización del control de calidad, la transparencia y trazabilidad de los datos en tiempo real permitiendo el análisis y desarrollo de estrategias y toma de decisiones acordes a la operación, gestionando grandes volúmenes de información (Big Data), teniendo en cuenta

algoritmos de IA para establecer comportamientos y detectar fallas de forma anticipada en los procesos, reduciendo de forma significativa los desperdicios y el aumento considerable de la productividad y mejora continua en las áreas logísticas. Los enfoques de Lean, Six Sigma y Kaizen, junto a la inteligencia artificial exponen lineamientos metodológicos amplios pero que es necesario potenciarlos con tecnologías disruptivas para acelerar y automatizar el impacto del buen desarrollo de los procesos en la cadena de valor.

Mediante la monografía se aplicará la necesidad de desarrollar un modelo investigativo de la implementación integral que vincule de manera enfática y efectiva los principios de mejora continua con las tecnologías emergentes, con la finalidad de lograr que la industria, las empresas y cadenas de suministros avancen de forma coordinada, inteligente, con cualidades de adaptabilidad y sostenibilidad, se busca de igual forma fomentar la innovación mediante el análisis de los estudios de caso y fomentar el aprovechamiento de los recursos y valor sostenible de beneficio para todas las partes que conforman la cadena de suministro. La investigación se centra en la sostenibilidad industrial y la transformación digital responsable e inteligente, dando como propuesta como solución a problemas que se encuentran frecuentemente en la industria actual como lo es la ausencia de aplicar nuevos métodos de mejora continua e innovación de transformación digital de la cadena de valor lo que ayuda a ser competitivos en la cadena de suministros. De igual manera se tienen en cuenta las implicaciones prácticas de valor que tiene este modelo investigativo en la industria y para las empresas, como lo es:

Automatización de los procesos y el control de calidad: mediante IA la monitorización y el control de calidad minimizará los errores e ineficiencias presentadas en los procesos y así mismo permitirá la detección de fallas en el desarrollo de las actividades que impliquen el buen

funcionamiento del flujo industrial, con el fin de mejorar constantemente y evitando reprocesos y sobrecostos.

Optimización de inventarios y pronóstico de la demanda: Mediante algoritmos de tecnologías emergentes, específicamente el internet de las cosas IoT y la tecnología blockchain ofrecerá la trazabilidad del inventario de forma segura, además se permitirá presidir mejor las fluctuaciones de la demanda, realizando una planificación más eficiente.

Sostenibilidad: con el uso de tecnologías emergentes se facilitará el que las empresas determinen prácticas más sostenibles para sus procesos, siendo responsables con los procesos de la cadena de suministro, encontrando mejoras sostenibles que registren competitividad en el mercado cada vez más enfocado en la sostenibilidad.

Este modelo de investigación se fundamenta de las bases en la inteligencia artificial, metodologías, tecnologías emergentes y enfoques que contribuirán al crecimiento de la competitividad, adaptabilidad empresarial, cultura en la innovación, aprovechamiento de los recursos, sostenibilidad en los procesos, generación de capacidades inteligentes y productivas para dar una gestión integral de la cadena de suministro industrial y dar cumplimiento al proceso de investigación propuesto en esta monografía, con el fin de entregar secciones de valor desde el enfoque conceptual y de opinión para enriquecer y aportar a las competencias técnicas de la ingeniería industrial.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un aporte investigativo para la implementación de mejoras continuas y prácticas en la cadena de suministro industrial, mediante el eficiente uso de inteligencia artificial y tecnologías emergentes, integrando las metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen, con el fin de optimizar y automatizar procesos operativos, reducir mermas, fomentar la innovación empresarial, promover la sostenibilidad y mejorar la toma de decisiones.

Objetivos Específicos

Analizar el impacto de la IA y las tecnologías emergentes en la optimización de la cadena de suministro industrial, incorporando los enfoques Lean, Six Sigma y Kaizen.

Identificar las principales ineficiencias y áreas de oportunidad dentro de la cadena de suministro que puedan ser mejoradas mediante la implementación de IA y metodologías de mejora continua.

Establecer un marco conceptual integrado para la implementación eficiente de la Inteligencia Artificial y tecnologías emergentes, en sinergia con las metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen, con el fin de optimizar procesos en la cadena de suministro industrial.

Evaluar la viabilidad y beneficios del modelo de investigación a través de estudios de caso, midiendo su impacto en la eficiencia operativa y la reducción de mermas, la innovación empresarial y mejoramiento en la toma de decisiones.

Marco Teórico

Fundamentación Teórica de la Inteligencia Artificial Aplicada a la Cadena de Suministro

Qué es la Inteligencia Artificial

El autor, Enzo Ferrante, define la inteligencia artificial como una disciplina que se basa en la construcción y desarrollo de entidades inteligentes artificiales, abarcando desde sistemas basados en reglas lógicas hasta los algoritmos de aprendizaje complejos que trabajan de manera automática (Ferrante, E.2021). La inteligencia artificial se centra en el desarrollo de máquinas y sistemas con la capacidad de ejecutar tareas que usualmente requieren de inteligencia humana, buscando la simulación de las capacidades humanas como razonamiento, aprendizaje, reconocimiento de patrones, toma de decisiones y comprensión correcta del lenguaje las cuales son adaptadas a máquinas o software. Es importante mencionar que la mayoría de las tecnologías disruptivas actuales usan métodos de aprendizaje automático donde los sistemas, máquinas o software aprenden en base a los datos, los datos se catalogan como la materia prima para el aprendizaje de los sistemas de la inteligencia artificial “(González, 2022)”. El punto central de la inteligencia artificial es la importancia del factor humano en el diseño de dichos sistemas, argumentando el diseño por medio de personas con visiones propias y reales de los procesos. La inteligencia artificial se considera actualmente como un campo interesante al no limitarse en la ejecución de tareas de manera eficiente incluso mejor que el ser humano, ya que son afectadas por factores como las emociones o el cansancio. La IA se basa en modelos computacionales los cuales integran algoritmos matemáticos y métodos estadísticos para el aprendizaje en base a gran cantidad de datos los cuales le permiten a la inteligencia artificial aprender patrones, reconocer situaciones, comprender estudios complejos y hacer predicciones con mayor facilidad sobre cualquier tema (Ferrante, E.2021).

Algunos de los procesos clave de la inteligencia artificial que usa para realizar de forma correcta el desarrollo y solución de problemáticas son: inicialmente se presenta la recolección de los datos en el cual la inteligencia artificial por medio de imágenes, voz, comportamientos, transacciones puede crear su propio sistema de aprendizaje e ir desarrollando su desempeño en su sistema de IA, de igual manera se presenta el procesamiento de los datos donde la inteligencia artificial es capaz de usar los modelos aprendidos y desarrollarlos en el campo indicado en el formato de máquinas que pueden entender y actuar conforme a su programación. El entrenamiento de los datos también es parte fundamental para el correcto funcionamiento de los patrones de la inteligencia artificial ya que es donde la inteligencia artificial empieza el proceso de trabajo, usando los métodos de aprendizaje supervisado, teniendo en cuenta que entre más datos el ejecute en su sistema más correcto y preciso va a ser el sistema de resultado. (Ferrante, E.2021).

Las aplicaciones más comunes de la inteligencia artificial hoy día son por medio de asistentes virtuales, el reconocimiento de voz, imágenes y textos, reconocimiento facial y seguridad, finanzas, medicina, manufactura y logística, robótica, marketing y publicidad, entre otros, en todos estos campos la inteligencia artificial ha desarrollado mejoras continuas que aportan significativamente a los diferentes campos desarrollando sistemas de innovación que han favorecido todos los procesos. “(Rodríguez Mayorga, S. 2022)”.

Dentro de los componentes clave de la inteligencia artificial se encuentra el Machine learning el cual más adelante se tratará, siendo es un sistema de aprendizaje automático, donde la inteligencia artificial puede aprender los datos sin ser programados de una manera rápida y explícita, permitiendo que las máquinas o sistemas aprendan a través de los datos. Pascual Sulca, E. (2021). Al igual que las redes neuronales permiten a la inteligencia artificial crear una red

neuronal por nodos interconectados que son capaces de procesar y transmitir la información y realizar tareas de mayor complejidad. La robótica también juega un papel fundamental en la inteligencia artificial ya que combinada con ingeniería, electrónica y mecánica los robots pueden desarrollar actividades y tareas de forma física en el mundo real, situación que hoy día está revolucionando muchos de los procesos en varias disciplinas tecnológicas.

En base a todos los factores mencionados anteriormente, la inteligencia artificial se presenta como una oportunidad de desarrollo tecnológico, que sigue evolucionando de manera rápida capturando nuevos métodos de trabajo y en aprendizaje continuo a fin de optimizar y automatizar procesos de manera eficiente.

Teniendo en cuenta los factores fundamentales de la inteligencia artificial uno de los puntos clave a tratar en esta investigación es la aplicación de la inteligencia artificial en la logística más detalladamente en los procesos que intervienen en la cadena de suministro industrial. “Nivicela- Nivicela, R., & Andrade-Amoroso, R. 2025”).

La Inteligencia Artificial y sus Beneficios en la Logística. José. (2021), “señala que la logística a nivel mundial es una industria que no ha sido actualizada a través de los años, los procesos son manuales y estos se desarrollan en dependencia de personas, donde se pierde tiempo, debido a errores humanos, falta de practicidad en los procesos e incluso poca velocidad al momento de desempeñar una tarea en específico”. (pag.7). Por esta razón las empresas buscan mejorar sus procesos operativos mediante el uso de nuevas tecnologías, por tal motivo la inteligencia artificial se abarca de manera muy dinámica y atractiva para las industrias, ya que mediante su uso se puede obtener una eficiencia directa en sus áreas de operación.

La logística involucra gran variedad de actividades y tareas que son primordiales para el buen desempeño de la cadena de suministro, la inteligencia artificial se ha hecho partícipe de la gran mayoría de las operaciones logísticas dándoles un auge de nuevas aplicaciones y procedimientos más eficientes y es de relatar que los sistemas de la inteligencia artificial cada vez se actualizan de forma más rápida pendiente los datos siendo capaz de mejorar los procesos de manera más eficiente y rápida mediante los algoritmos y sistemas inteligentes de optimización y automatización, temas principales en la logística como lo son las redes y transporte, la predicción de la demanda, la automatización de los almacenes y gestión y monitoreo en tiempo real con unas de las áreas donde la inteligencia artificial hace presencia y genera beneficios provechosos para la industria como lo son la eficiencia operativa, la reducción de costos, mejoramiento en la experiencia del cliente, la sostenibilidad en los procesos, la flexibilidad, transparencia e innovación.

La aplicación de la inteligencia artificial en la logística, principalmente por medio de software y maquinaria, ofrece gran variedad de beneficios tangibles, representando un cambio del paradigma del atraso tecnológico en la logística, siendo capaz de automatizar y optimizar procesos, generando un impacto positivo en los procesos y estrategias de mejoras que implementan las empresas actualmente, por tal razón a medida que la tecnología avanza la inteligencia artificial representa un impacto transformador en la industria y logística más específicamente en los procesos de la cadena de suministro industrial.

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la Planificación, Control Logístico y Gestión de la Cadena de Suministro

Para poder aplicar la IA en los procesos se debe tener en cuenta varios factores por ejemplo: Análisis general del estado en el que se encuentra la empresa de extremo a extremo.,

verificar cual es la necesidad que se tiene en el flujo de trabajo para poder agilizar el proceso, definir los objetivos que tiene la empresa identificando qué problemas en específico se quieren resolver para lograr su propósito, evaluar cómo se tiene la organización en cuanto a tecnología digital, para adoptar las soluciones al aplicar IA, contar con datos precisos en general de las áreas que se aplicará la IA. ya que esta se alimenta de datos, de igual manera, el desarrollo y entrenamiento continuo al aplicar modelo de IA en la cadena de suministros para que en los procesos se tenga el conocimiento adecuado de lo que se quiere lograr y cómo se trabaja con este modelo, realizar pruebas piloto que puedan ser efectivas y que puedan brindar soluciones antes de implementar en su totalidad o a gran escala en los procesos y capacitar al personal para que se pueda involucrar en los procesos de IA y trabajar con las nuevas herramientas.

Entre las técnicas de la inteligencia artificial que se emplean en mayor medida en los procesos de la cadena de suministro se destacan de manera especial los algoritmos genéticos y los agentes inteligentes, los cuales se ejecutan durante la planificación, la distribución y la entrega de los productos (Icarte Ahumada,2016). Con la aplicación de IA en la planificación de la cadena de suministros, se puede obtener un mejor pronóstico de la demanda por su análisis detallado de datos históricos y sobre las tendencias que se tienen en el mercado, logrando precisión de datos pronósticos, reduciendo faltantes y exceso de inventarios, incluso puede ayudar con su análisis a la toma de decisiones. También se logra una gestión de inventarios funcional, ya que se puede ajustar automáticamente los niveles de stock de materiales y los movimientos que se realizan para tener los datos variables internos o externos de la organización que lo aplique, optimización en transporte y el área logística por ejemplo: verifica climas, tráfico lo cual ayuda a tener rutas óptimas, reducción de costos tiempos de entregas precisos acordados desde el inicio con el cliente final, planificación en la parte productiva logra ajustar la

capacidad de producción de acuerdo a la demanda del momento, minimizando los tiempos muertos, que quiere decir: permite organizar, ajustar y mejorar cada uno de los procesos de manufactura en tiempo real y anticipada como se realiza: se analiza la demanda, se optimiza los recursos disponibles como materias primas, maquinaria, personal, turnos y propuesta de producción. Con el fin de maximizar la eficiencia y minimizar los tiempos muertos.

Por otra parte, la aplicación de la inteligencia artificial en el control logístico. Puede optimizar la planificación y gestión de la cadena de suministro, mejorando la previsión de la demanda, la gestión de inventarios, la programación de la producción y la logística. “La IA también permite una mayor visibilidad y trazabilidad de los productos a lo largo de la cadena de suministros, lo que facilita la detección y resolución de problemas de manera más rápida y eficiente” (Gutiérrez y Polo,2023, pág.12). En el caso de la logística y gestión al aplicar esta herramienta se puede lograr obtener una gestión automatizada de inventario: niveles de stock, tiempos de entregas, mayor rotación de inventarios, saber cuándo reabastecer el producto y en qué momento. Optimización de transportes, rutas y mantenimientos preventivos: verificando restricciones, tráfico, climas, detección de posibles fallos con ayuda de sensores en vehículos y tiempos de entrega real. Ejemplos:

Monitoreo en tiempo real en transportes: los sensores, Gps y los sistemas Lot.

Optimización de rutas: Algoritmos que permiten identificar retrasos en el camino como tráfico, accidentes, peligros, para lograr ajustar las rutas en tiempo real y toma de decisiones para poder darle respuesta al cliente final.

Control de almacenes: ubicación de productos, cantidades en stock, movimientos realizados, se logra también identificar faltantes de abastecimiento para compras a tiempo y que no vayan a ser falta en el momento productivo.

Enfoque Teórico de las Tecnologías Emergentes del Estudio Aplicadas en la Transformación de la Cadena de Suministro

Machine Learning (ML)

El machine learning es considerada una disciplina de la inteligencia artificial (IA) que se centra en la creación y desarrollo de algoritmos y modelos computacionales actualizados que facilitan a los sistemas aprender de los datos y mejorar de forma rápida su rendimiento y automatizar los procesos sin ser programados realizando tareas específicas, el objetivo principal del machine learning es construir modelos que vayan a partir de los datos recibiendo patrones estructurales de información, los cuales son usados para la toma de decisiones, realizar procesos y predicciones.

Etapas de Implementación de Aprendizaje del Machine Learning en la Industria. La implementación del sistema machine learning en los ámbitos industriales es un método que requiere el uso de conocimientos en programación, estadística y gestión correcta de los datos, para que las soluciones a las problemáticas sean exitosas se debe seguir unas etapas de la implementación del machine learning:

Recolección de datos: “Este paso implica reunir el material de aprendizaje que implementa un algoritmo para generar un conocimiento procesable” (Jimenez et al., 2021). Hay que saber que los datos son cruciales en los procesos y para obtener soluciones relevantes,

acordes y confiables, los datos deben ser estructurados mediante tablas o bases de datos. Esta primera etapa de la recolección de los datos se aplica en la industria en procesos como el mantenimiento preventivo, la producción, planificación y calidad del producto. Es importante mencionar que en cuanto mayor sea la recolección de los datos mayor será la precisión en el modelo y la posibilidad del análisis será más proactiva.

Exploración y preparación de los datos: esta etapa es considerada una de las más complejas en cualquier proyecto de machine learning, ya que en esta fase se enfoca en el estudio y comprensión de la estructura, las características y la calidad de los datos adquiridos y realizar su debida preparación para que mediante los algoritmos de aprendizaje puedan ser desarrollados de manera más eficiente e ir a profundidad mediante el análisis visual, técnico y estadístico para encontrar los patrones y estructuras ocultas. La aplicación de esta etapa segunda etapa del machine learning en la industria se desarrolla mediante la codificación y normalización de los procesos para transformar las variables categóricas en variables numéricas, eliminando datos con errores

Esto implica que todos los datos innecesarios sean eliminados y se codifiquen para ajustarse a las entradas esperadas de la técnica de aprendizaje autónomo de la maquina (Jimenez et al., 2021). Esta etapa es importante ya que el 80% del tiempo de la ejecución del machine learning se consume en la exploración y la preparación de los datos, por tal razón, hay que preparar datos de forma acorde y correcta ya que si hay datos mal muy probablemente se obtengan resultados erróneos y engañosos.

Entrenamiento del modelo: esta fase es importante en el desarrollo del proyecto machine learning, ya que dentro de este ciclo el modelo ya con los datos preparados aprende y retiene patrones a partir de dichos datos y su finalidad es optimizar los parámetros internos del modelo

para minimizar los errores en los valores y predicciones de los datos reales. La aplicación del entrenamiento en la industria está reflejada en la predicción de la demanda, la segmentación de los clientes, la optimización del mantenimiento, detección de errores y calidad de los procesos mediante entrenamientos computacionales complejos de redes neuronales.

Evaluación del modelo: una vez se ha entrenado el modelo, se procede con la evaluación que es esencial para estimar la efectividad del modelo durante el proyecto de machine learning, en esta fase se conoce si el modelo es acorde a las necesidades y soluciones del problema planteado y tiene la capacidad para realizar predicciones y estrategias confiables y precisas sobre los datos. En esta fase se realiza la validación, verificación y medición del rendimiento del modelo con métricas cuantitativas, sabiendo la capacidad de adaptación nuevos a escenarios del modelo en base a los datos otorgados. De tal manera una evaluación rigurosa puede garantizar así modelos confiables y determinar el rendimiento teniendo la oportunidad de generar cambios en los datos o mejorar el modelo.

Mejoras del modelo: “algunas veces puede ser necesario cambiar a un tipo diferente de algoritmo de aprendizaje, con la finalidad de que el nuevo algoritmo pueda realizar la misma tarea de una manera más precisa” (Jimenez et al., 2021). El fin de esta fase es incrementar la confiabilidad y precisión del modelo, reduciendo errores, aumentando la capacidad de desarrollar nuevos datos, maximizando el rendimiento para generar una optimización continua en los procesos y lograr un modelo útil con decisiones acordes y reales. En la ingeniería industrial esta fase es primordial para garantizar un sistema que tenga impacto inteligente en la productividad, la planificación, calidad y la eficiencia operativa. Los modelos deben ser monitoreados y actualizados conforme a los modelos para que sigan siendo efectivos, por tal motivo esta fase es primordial en la industria ya que se establece el modelo final y se implementen mediante las

mejoras incorporadas y adaptadas en el resultado, al ejecutar todas las fases anteriores obteniendo como fin un modelo adecuado para los procesos.

Teniendo en cuenta el estudio realizado al machine learning, los tipos de datos y aprendizajes, además de las etapas de su implementación en la industria es correcto decir que este sistema de machine learning es más que una herramienta tecnológica, debido que representa un cambio en la forma en que los procesos de la industria se analizan, se entienden, se constituyen, se ejecuta y se optimizan, el sentido que esta disciplina le otorga a los procesos logísticos va más allá y otorga la capacidad de automatizar las tareas y el método de predecir los comportamiento y nuevos factores que permiten transformar los datos en conocimiento continuo. Es importante mencionar que la industria presenta complejidad en sus procesos como la variabilidad y la necesidad de la eficiencia en sus actividades, por tal razón, el machine learning como se ha mencionado anteriormente actúa de forma directa entre las necesidades logísticas que presenta la industria siendo una alternativa eficaz y estratégica que permite mantener una gestión proactiva, inteligente y adaptable en los procesos. El machine learning no ofrece una solución puntual sino que mediante su proceso cíclico se van evidenciando en el transcurso de la operación, desde la recolección de los datos hasta las mejoras del modelo que juntamente con algoritmos y principios de excelencia operacional y mejora continua como son lean, six sigma y kaizen se logra una optimización progresiva y técnica en las tareas, estos enfoques (lean, six sigma y kaizen) serán tratados más adelante en esta investigación para abarcar y comprender mejor el funcionamiento y la importancia de estos enfoques en el mejoramiento de los procesos logísticos de la cadena suministro.

Las organizaciones que integren de forma estratégica el machine learning asumirán el reto de mantener innovación y competitividad en sus procesos y por ende en sus resultados, se

anticiparon a los cambios, tomando decisiones más estratégicas e inteligentes, garantizando un crecimiento continuo y serán capaces de adaptarse a nuevos retos en un entorno cada vez más dinámico y exigente.

Blockchain

El blockchain es considerado como una tecnología de registro distribuido que conserva y mantiene una base de datos en continuo crecimiento, donde la información es ordenada mediante bloques los cuales se conectan de forma cronológica, organizada y secuencial interconectando en forma de cadena, los bloques contienen las operaciones y transacciones de forma segura, manteniendo la trazabilidad y transparencia en los procesos. Esta tecnología es fundamental en la entrega de información ya que proporciona datos de forma rápida y compartida asegurando la transparencia, dando registros al personal autorizado en la red. El blockchain es útil a la hora de realizar actividades en diferentes ámbitos como en el rastreo de pedidos, sistemas de producción y pagos, entre otros, generando oportunidades de mejora y estrategias novedosas a los procesos. El sistema de blockchain se caracteriza por brindar a las partes involucradas la seguridad necesaria en los datos, convirtiéndose en un modelo innovador para varias empresas.

Partes Principales del Sistema Blockchain. La tecnología del blockchain ha emitido un aserie de innovaciones en la transformación digital así como un sistema transparente e inmutable que representa una transformación en muchas de las áreas de interés como lo son, la industria, la salud, manufactura, la cadena de suministro, marketing y comercio, etc, este sistema integra de forma permanente sistemas de seguridad de alto nivel, por tal motivo maneja la trazabilidad de forma funcional siendo clave para la transformación en la era digital y la gestión eficiente de los datos. Para comprender mejor cómo es el mecanismo del blockchain en los procesos, a continuación, se describen las partes principales que conforman el sistema de blockchain, estas

partes trabajan de manera conjunta para garantizar la seguridad e integridad de los datos fomentando el buen desarrollo de los procesos.

Bloques: los bloques se catalogan como la unidad de almacenamiento del sistema blockchain, los cuales se conforman por medio de un encabezado y un cuerpo, que permiten resolver la pruebas del trabajo, almacenando las transacciones, garantizando la trazabilidad y la inmutabilidad de los datos que han sido registrados, para ser más claros, los bloques hacen referencia como a páginas seguras que se encuentran en un libro compartido, cada una de estas páginas se encuentran conectadas a una huella digital, siendo un sello en tiempo real, todo para asegurar la información y que el sistema blockchain sea aún más confiable y que externos no puedan cambiar los registros sin que se note, garantizando la integridad y la trazabilidad de los datos.

Cadena de bloques: hace referencia a la estructura secuencial y vinculada criptográficamente en cada bloque, formando una línea en tiempo real de la información, lo cual impide que los datos sean modificados, evitando alteraciones de los mismos, asegurando la integridad, seguridad y transparencia del sistema blockchain.

Nodos: los nodos se catalogan como los dispositivos que se encuentran interconectados que permiten la ejecución del blockchain y contienen funciones fundamentales en la validación y verificación de los bloques. Existen varios tipos de nodos: nodos completos, que verifican cada bloque y almacena toda la cadena, los nodos ligeros, actúan en los datos de forma más resumida y los nodos validadores se encargan de añadir nuevos bloques de forma segura. Todos los nodos forman adaptabilidad operativa en el sistema del blockchain.

Mecanismos de consenso: dichos mecanismos permiten por medio de algoritmos que los nodos puedan llegar a un acuerdo en los procesos de la validación de las transacciones y el estado actual de la cadena, para dar claridad, se catalogan como reglas que poseen todos los dueños de las copias del libro denominadas como nodos, para llegar al acuerdo mencionado se requieren de algunos métodos como lo son: las pruebas de trabajo y pruebas de participación, las cuales siendo fundamentales organizan los nodos de tal manera que el proceso del blockchain se realice de forma transparente, asegurando que todos tengan disposición del mismo libro sin hacer modificaciones individuales sin que los demás sepan.

Carteras digitales: las carteras digitales se consideran herramientas importantes y esenciales para que los consumidores finales puedan gestionar de forma segura sus claves criptográficas y sus activos en la red del blockchain, una de las funciones principales que presentan las carteras digitales es la creación de claves privadas que entregan control absoluto de los activos y fondos, permitiendo así las transacciones seguras y acceso confiable a los cripto activos(activos digitales que se pueden almacenar y comercializar, son activos virtuales que no equivalen a efectivo)

Contratos inteligentes: son programas del blockchain que se activan de una forma automatizada cumpliendo condiciones ya definidas, depurando la necesidad que usar intermediarios, ya que son contratos que, en lugar de estar en papel escritos, se encuentran por medio de códigos digitales, siendo como se mencionaba procesos que se ejecutan automáticamente donde nadie interviene manualmente convirtiendo el proceso seguro y confiable además de no tener intermediarios. Estos contratos son esenciales y se ven reflejados en procesos como los servicios financieros automatizados, la gestión de activos de manera digital y las aplicaciones centralizadas, en palabras más entendibles, los contratos son como acuerdos

digitales que se cumplen por si solos, cumpliendo condiciones con el conocimiento de las dos partes involucradas, haciendo el proceso con total transparencia, permitiendo abarcar nuevos servicios y aplicaciones al mundo moderno.

Tipos de Estructuras del Blockchain. La tecnología del blockchain ha modernizado la forma de gestionar y verificar los datos en los diversos ámbitos industriales y empresariales, la capacidad que tiene el blockchain en el manejo de transparencia y seguridad se hace llamativo para las empresas y su aplicación en sus procesos para ser más seguros. El blockchain tiene diferentes estructuras que pueden variar según las necesidades, control y su acceso, estas son: la blockchain pública, la blockchain privada, la blockchain federada y la blockchain híbrida, cada uno de estos tipos de estructura del blockchain ofrece configuraciones que establecen diversas soluciones a las necesidades específicas de seguridad, facilitando su adopción en diversos contextos industriales, tecnológicos y empresariales.

Blockchain pública: Este tipo de estructura es una red integralmente descentralizada y abierta, donde los usuarios pueden ser partícipes sin ninguna restricción, por ende, no se necesita de ningún tipo de permiso para ser leída, escrita o auditar sus transacciones, es de libre acceso y maneja los datos de forma transparente. Dentro de sus ventajas se encuentra su alta seguridad y la total transparencia, pero como desventaja temas como el alto consumo energético y puede presentar bajo rendimiento, puede ser aplicada en procesos como las criptomonedas, proyectos gubernamentales y registros públicos. El blockchain pública puede aplicarse en la industria en los procesos de la cadena de suministro como la trazabilidad del origen del producto o materia prima.

Blockchain privada: representa una gestión realizada por una única organización, solo tienen acceso ciertos usuarios que están autorizados para realizar las validaciones y

transacciones, además de conocer el historial de la cadena teniendo el acceso controlado. Esta estructura de blockchain ofrece mayor velocidad en el procesamiento de los datos y su eficiencia con menor descentralización, tiene un sistema con mayor rapidez con control permanente de los datos de los participantes autorizados, con mayor adaptabilidad a las necesidades empresariales, algunas de las desventajas son que se encuentran en una posición con mayor vulnerabilidad e índices de confianza inferiores por parte de los usuarios externos, se aplica en áreas como la gestión logística, la gestión de inventarios, aplicaciones en bancos y control de calidad en procesos industriales.

Bolckchain federada: esta estructura de blockchain presenta una red semi-privada en la cual nodos seleccionados con anterioridad pertenecen a diferentes organizaciones, la participación a esta red es restringida a un grupo seleccionado de entidades fiables, manteniendo un equilibrio entre la descentralización y la privacidad, tiene una mayor estabilidad y rendimiento aumentando la confianza al compartir la información, una de las desventajas evidenciadas son la complejidad en la coordinación de las partes que la integran para cumplir con todas las necesidades. Las aplicaciones de esta red en la industria están en la cadena de suministro, en las industrias automotrices, logística, farmacéutica y en el comercio internacional.

Blockchain Híbrida: Esta red sistematiza el control y da flexibilidad para la personalización del nivel de acceso a la información, maneja transparencia y privacidad en su proceso, con protección de los datos sensibles y por ende aprovecha los beneficios que ofrece el blockchain pública y privada, dando un equilibrio conforme para las partes y con una mayor diversidad de ventajas, se pueden presentar desventajas como la complejidad en la implementación y riesgos en la vulnerabilidad si no se actúa de forma adecuada, de las aplicaciones más comunes donde trabaja este tipo de blockchain es en el sector de la salud en

procesos como los historiales médicos y al validación de los diagnósticos, en la industria se evidencian en procesos como el rastreo de la mercancía y el control de la calidad conociendo y manteniendo privada la trazabilidad la gestión interna de la red logística.

El Blockchain y su Aplicación en la Industria, Particularmente en la Cadena de Suministro. La aplicación del sistema Blockchain en la industria es un tema bastante amplio que se dará a entender mejor en esta sección, el Blockchain contiene una serie de beneficios para las empresas ya que al ser una de las tecnologías más influyentes permite almacenar de forma segura e inmutable los datos, garantizando la seguridad y trazabilidad de la información. Dentro de la cadena de suministro industrial, el Blockchain presenta mejoras significativas en la eficiencia en la mayoría de las operaciones, donde las áreas donde más optimiza y da mejoramiento es en el área de compras, almacenamiento y embarque de los productos (Martínez et al., 2023). Por tal razón, la presencia de esta tecnología en la industria en la cadena de suministro industrial juega un papel importante en los procesos asegurando la optimización de las operaciones logísticas, aumentando el cumplimiento de los objetivos de seguridad y fortaleciendo la gestión de los datos y la información en tiempo real. Dentro de la cadena de suministro el blockchain permite la trazabilidad y visión completa del inventario, permitiendo el rastreo de los productos desde su origen hasta su destino final, la prevención del fraude y la autenticidad de los datos, además de la automatización mediante los contratos inteligentes, haciendo posible la reducción de tiempos, de costos y errores, creando una gestión sustentable y cumpliendo con las buenas prácticas de la cadena de suministro. La integración del blockchain con tecnologías como IoT (internet de las cosas), machine learning y big data le ofrecen a la industria por medio de sensores de información automática y la detección de anomalías la optimización de sus procesos, garantizando que la información sea tratada de forma unánime y

controlada creando cadenas de valor mucho más seguras, inteligentes, eficientes y sostenibles, prometiendo nuevos retos tecnológicos a futuro para seguir favoreciendo las áreas que requieren de mayor control.

Sobre lo expuesto anteriormente, adoptar el sistema que ofrece blockchain para las empresas les permite de una manera más inteligente y segura salvaguardar sus datos e información, presentando una estrategia fundamental y bien argumentada mediante sus herramientas para abordar los crecientes requerimientos del mercado, tales como la trazabilidad, la transparencia, seguridad y correcta trazabilidad, por tanto el uso de esta tecnología le aporta al sector empresarial e industrial una mitigación de vectores de riesgos, resolviendo problemáticas tradicionales como la manipulación inadecuada de los datos y la falta de sincronización en la información. Es importante resaltar que hay que conocer cómo se maneja esta tecnología para sacar buen provecho de sus herramientas y usarla de la forma correcta para que aporte significativamente a los procesos dentro de los ámbitos que las partes desean que sea implementado, anteriormente se desglosó de forma precisa las partes, los tipos y los beneficios de sus aplicación a la cadena de suministro una de las partes fundamentales de la industria para dar un alcance de lo que este sistema puede ofrecer y los beneficios que se pueden obtener mediante su correcta implementación.

Internet de las Cosas (IoT)

El internet de las cosas, comúnmente conocido como IoT, se define como la interconexión que existe en las redes de comunicación. El término IoT hace referencia a los sistemas físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas con poca intervención humana y esto se debe gracias a la integración de los dispositivos informáticos en

todo tipo de dispositivos (Zermeño et al., 2021, pág.568). Esta tecnología permite la transformación de los objetos cotidianos en herramientas activas para que puedan interactuar y actuar de forma eficiente en el entorno.

Elementos Primordiales del Internet de las Cosas (IoT). Conectividad: la conectividad se considera la base de la tecnología LoT, ya que permite que los dispositivos se encuentren en constante comunicación entre sí y con conectividad a los sistemas centrales, para lograr esto se usan varias tecnologías como lo son el Wi-Fi, Bluetooth, Zogbee, LoRaWAN, 5G, Ethernet industrial. El funcionamiento de dicha conectividad depende de varios factores como el consumo de energía, el ancho de banda, el rango de transmisión y el tiempo que el sistema tarda en transmitir la información.

Dispositivos físicos (hardware): son los dispositivos físicos son los sensores, actuadores, módulos de comunicación, microcontroladores (MCUs), sistemas embebidos los cuales responden de la captura de los datos del entorno, como la presión, la temperatura la presión entre otros. Estos dispositivos son fundamentales en la industrial para mejorar el control y la eficiencia de los procesos

Interfaces de usuario: las interfaces son capaces de visualizar datos, enviar correos y comandos y son cruciales para que los usuarios tengan acceso e interacción con los sistemas IoT. Dentro de la interfaz de usuario se presenta dicha información por medio de aplicaciones móviles, sistemas modernizados, realizada aumentada (AR) y dashboards web, las cuales consideran aspectos importantes como la ciberseguridad, la ergonomía y la satisfacción del usuario con el fin de garantizar la efectividad del proceso.

Plataformas para la gestión de los datos: Estas plataformas son las encargadas de organizar, almacenar y organizar la información que proviene de los dispositivos IoT, este elemento permite que la información sea segura y ofrecer visualizaciones avanzada de los datos para que sea trabajada de forma remota y facilite de forma en la toma de las decisiones.

Análisis y procesamiento de los datos: permite la transformación de la información cruda en hallazgos relevantes para la toma de decisiones informadas, usando técnicas como los análisis descriptivos, predictivos y prescriptivos. En la ingeniería industrial es fundamental su uso para la optimización de los procesos y el mejoramiento de la eficiencia operacional por medio de los análisis en series de tiempo, el machine learning y los modelos de mantenimiento predictivo.

Aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) en los Procesos Industriales.

Optimización logística: gracias a la implementación del IoT por medio de sensores y etiquetas RFID, es posible realizar rastreo de los inventarios en tiempo real, además de la optimización de las rutas transporte y la gestión acorde del inventario de manera automática, reduciendo costos y aumentando la eficiencia

Gestión energética: los sensores tienen un papel importante en la gestión energética al monitorear el consumo de energía de los equipos en la industria, lo cual permite encontrar las ineficiencias en los procesos y ajustar estrategias técnicas de ahorro energético. Los sistemas de gestión energética que son compatibles con IoT favorecen a la implementación de procesos de optimización y más sostenibles para la industria.

Mantenimiento preventivo: el IoT permite la implementación de mantenimientos preventivos basándose en los datos en tiempo real como las vibraciones, la temperatura, y el

consumo y uso de energía, al igual que permite el anticipar las fallas antes de que ocurran, optimizando la vida y ciclos de los activos, claves para la gestión eficiente.

Automatización de procesos: por medio de la interacción de sensores y actuadores se realiza la supervisión de las líneas productivas y la intervención rápida ante cualquier proceso ineficiente, mediante la combinación de sistemas, la supervisión y control con arquitecturas de IoT entrega un control más preciso de los procesos en la cadena de suministro.

Producción inteligente: la producción inteligente es un término que se centra en la industria 4.0, la cual se basa en entornos, sistemas, equipos, sistemas productores que se conectan e intercambian datos de forma continua, ajustando la producción real, por medio de tecnologías como los sistemas de ejecución de manufactura (MES) y gemelos digitales por cuales permiten impulsar la flexibilidad y adaptabilidad rápida de las empresas a las demandas del mercado

En este sentido, el Internet de las cosas (IoT) está revolucionando varias áreas industriales, mejorando no solo la eficiencia de los dispositivos, sino también su rendimiento mediante el uso de software, que junto con inteligencia artificial y tecnologías como blockchain y machine learning claves en esta investigación se presentan como parte fundamental para el desarrollo del procesos de manera óptima, ofreciendo soluciones innovadores para mejorar y facilitar las tareas y la toma de decisiones. Estas Tecnologías y elementos son importantes tenerlos en cuenta para la comprensión del modelo investigativo a desarrollar en esta investigación.

Soporte Conceptual de los Enfoques Lean, Six Sigma y Kaizen Aplicados en la Cadena de Suministro.

Lean Manufacturing

Este es uno de los enfoques fundamentales que se profundizan en esta investigación, teniendo en cuenta sus conceptos más importantes para dar profundización y entendimiento del tema.

Lean Manufacturing es un modelo de organización que gestiona los modelos industriales buscando la mejora de la calidad, el servicio y la eficiencia mediante la eliminación continua de desperdicios (Porrás et al.,2022, pág.105)

Lean Manufacturing se cataloga como uno de los enfoques más importantes en la gestión y mejoramiento de los niveles de productividad, optimización y rentabilidad en los procesos de la cadena de suministro, centrándose en la reducción de costos de producción, disminución de costos en compras, aumento en la calidad del inventario, actuando así mismo como pilar fundamental para maximizar el valor para el cliente final incrementando los índices de utilidad en las empresas. El concepto de Lean Manufacturing se desarrolla inicialmente en el proceso productivo de la fábrica Toyota en Japón al ejecutar tareas de forma más inteligente, centrándose en el trabajo focalizado desde la perspectiva del consumidor, generando aumento en los índices de productividad, competitividad y rentabilidad.

Como lo afirma Muñoz et al (2022), el reto para los japoneses era lograr beneficios de productividad sin recurrir a economías de escala, por ende, comenzaron a estudiar los métodos de producción de Estados Unidos, con especial atención en las prácticas productivas de Ford, al control estadístico de procesos desarrollado por W. Shewart, a las técnicas de calidad de

Edwards Deming y Joseph Moses Juran, junto con las desarrolladas por Kaoru Ishikawa. (pag.14). El desarrollo de estas prácticas conlleva un desarrollo continuo en la industria lo cual implica una intervención de más tecnologías y enfoques como kaizen para promover la mejora continua del proceso.

Principios Fundamentales del Lean Manufacturing. Identificación del valor desde la perspectiva del cliente: el centro de este principio es crear valor agregado al cliente el cual está dispuesto a pagar, lo cual implica tener claras las necesidades del consumidor y dar por terminado todo aquello que no le genere valor al cliente, este principio tiene relación con la tecnología machine learning la cual colabora en la identificación de patrones que indican los comportamientos del cliente y anticipar sus necesidades para que las empresas puedan priorizar dichas necesidades y generen valor, alineando la oferta con la demanda real.

Mapeo del flujo de valores: este mapeo del flujo de valor permite que durante los procesos desde la materia prima hasta la entrega al consumidor final se puedan identificar las actividades que no agreguen valor, durante el mapeo se puede identificar los cuellos de Botella y las áreas con ineficiencias que generan desperdicios a fin de eliminarlos, optimizando el flujo del inventario y los procesos.

Flujo continuo: este principio busca eliminar las interrupciones presentadas en el flujo de trabajo, permitiendo que el proceso productivo y de distribución se realice de forma continua. Por medio de algoritmos se pueden prevenir fallas en la línea de producción evitando paradas innecesarias durante el proceso.

Producción justo a tiempo: establece y cumple con los tiempos estipulados en la fabricación y distribución para minimizar costos e inventario necesario, mediante los modelos

predictivo de machine learning se puede prever la demanda con precisión y se programa la producción teniendo en cuenta las necesidades más exactas del cliente final.

Mejora continua: es uno de los principios clave del lean manufacturing el cual trabaja en realizar menores ajustes con el fin de aumentar la eficiencia, optimización y control del proceso logístico. Este principio hace énfasis a la metodología Kaizen la cual También se tratará en esta investigación, la cual se centra en la mejora continua como parte fundamental del proceso de la cadena de suministro.

Técnicas y Herramientas para la Mejora Continua del Lean Manufacturing. La mejora continua es parte fundamental en los procesos logísticos, lean manufacturing se apoya con diversas técnicas y herramientas que buscan optimizar de manera eficiente los procesos.

Enfoque Kaizen: este enfoque significa “mejora continua”, la cual tiene una participación activa y progresiva en todos los aspectos de la industria, kaizen se basa en las pequeñas acciones para generar un impacto positivo a los procesos, en la cadena de suministro fomenta la participación de los operarios para identificar y corregir errores de manera rápida y efectiva.

5S: la metodologías de las 5s proviene de las cinco palabras japonesas: Seiri (clasificar), seiton (ordenar), seiso (limpiar), seiketsu (estandarizar) y shitsuke (mantener), dicha metodología es un técnica que ayuda a la gestión visual del espacio de trabajo para aumentar la seguridad y eficiencia del trabajador, favoreciendo en la reducción de costos, el desplazamiento entre almacenes y en los centros de distribución , para facilitar las condiciones laborales lo cual ayuda a disminuir las paradas imprevistas.

Es claro que al eliminar el desorden como lo establece esta técnica se crea un entorno más productivo, reforzando con lean y six sigma e inteligencia artificial se centran en la Calidad y la reducción de mermas aumentando la productividad.

Kanban: se registra como un sistema de control el cual indica señales visuales para el control de producción y el correcto inventario, gestionando el flujo de trabajo, sincronizando el reabastecimiento evitando la sobre producción y la acumulación de desperdicios y de inventario, esta herramienta se basa en los principios de Just in time, lo cual asegura lo que se necesita cuando se necesita en la cantidad requerida, lo que resulta importante para la cadena de suministro y su agilidad y eficiencia en sus procesos.

Control de calidad: este es un proceso sistemático el cual ayuda a que el inventario y los servicios cumplan con los requerimientos y necesidades del cliente, en lean manufacturing es integrado directamente con los procesos de control y detección y corrección de errores en tiempo real, con sistemas como Poka Yoke (es un sistema de prueba y error) y Jidoka (calidad en la fuente), se asegura la calidad constante del producto y asegura que el flujo de la cadena de suministro se de correctamente.

SMED (single-minute Exchange of Die): es una herramienta que es primordial en la reducción de tiempos de cambio de herramientas, equipos, maquinaria, con el fin de realizar cambios de línea en el menor tiempo posible (menos de 10 minutos), facilitando la producción y distribución del inventario, reduciendo significativamente los tiempos muertos en la operación logística de la cadena de suministro.

Lean Manufacturing y Tecnologías Emergentes Estudiadas en la Industria.

Blockchain en Lean manufacturing: sabiendo que la tecnología del blockchain mejora la

trazabilidad, la transparencia, seguridad y confianza de cliente, se convierte en parte fundamental para el desarrollo del lean manufacturing en la cadena de suministro, ya que mejora la transparencia que hay entre la entidad y los clientes y proveedores, además de disminuir reprocesos y mejora la Calidad de los productos, agilizando la gestión de inventarios y reduce sobrecostos operacionales.

Machine learning en Lean manufacturing: teniendo en cuenta que machine learning una rama de la inteligencia artificial que se basa en el aprendizaje autónomo, al trabajar conjuntamente con lean manufacturing es indispensable para los mantenimiento preventivo, el control de Calidad inteligente, la optimización de la producción y distribución, aumentando la eficiencia en los procesos de manufactura haciendo que la inteligencia artificial sea un foco importante en los procesos logísticos de la cadena de suministro.

Inteligencia artificial y Lean manufacturing: la inteligencia artificial abarca tecnologías que le permiten a las máquinas simular comportamiento humano para comprender información e y analizar para entregar información lo más fundamentada posible como sucede machine learning. Al abarcar la inteligencia artificial en lean manufacturing se puede automatizar los procesos, optimizar de manera dinámica y proactiva la cadena de suministro, analizar la información de forma preventiva, creando mayor adaptabilidad al mercado por medio de procesos innovadores.

Lean manufacturing ofrece un marco de gestión adaptable y de apoyo a la cadena de suministro con ayuda de sus principios, técnicas y herramientas que conjuntamente trabajan para que las organizaciones que logren su implementación puedan ser pilar fundamental en la competitividad en el entorno empresarial actual y a futuro.

Six Sigma

Lean six sigma es una metodología que se enfoca en reducir la variación y los defectos encontrados en las operaciones de cualquier organización, es uno de los enfoques primordiales de esta investigación, ya que es fundamental para la mejora continua en los procesos dentro de la cadena de suministro. “La implementación de la metodología Lean Six Sigma en las organizaciones contribuye a aumentar los niveles de productividad y competitividad” (Pérez et al., 2021, pág.151). Esta metodología actúa como una filosofía y una estrategia de negocio que se centra en la mejora de la satisfacción y el cubrimiento de las necesidades del cliente final, ofreciendo rentabilidad por medio de la eliminación de defectos en los procesos. De los principios fundamentales del Six sigma está el enfoque estratégico del cliente, la gestión correcta basada en datos y hechos reales, dando un acercamiento mayor a los procesos y la prevención de los defectos operativos, generando mejora continua y mejorando la participación y la colaboración de organizaciones.

Enfoque de la Estructura DMAIC en Six Sigma. El enfoque de DMAIC es fundamental de la metodología six sigma, ya que proporciona un enfoque sistemático basado en datos para el análisis y la corrección de errores, importante para la cadena de suministro, a continuación, se desglosa la información de lo que significa cada ciclo del DMAIC tomando como referencia la Figura 1.

Figura 1

Ciclo de la Metodología del DMAIC en Six Sigma



Fuente. Teodosio, C. (2023)

Definir: la definición es el punto de partida para la comprensión y acción del problema, en esta sección se estudian todas las partes involucradas en el proceso, por medio de diagnósticos se definen las necesidades más importantes del cliente y del negocio para mejorar y enfocar el Proyecto correctamente.

Medir: una vez definida la información se realiza la medición, en lo cual se busca realizar la cuantificación de la problemática mediante datos que sean confiables, es importante mencionar que la Calidad de los datos es importante ya que al tener datos errores puede generar conclusiones no acordes y erradas, esta fase permite la comprensión del problema además de identificar la variabilidad del proceso

Analizar: en esta etapa se busca analizar por qué sucede el problema que factores afectan e identificar la causa raíz de la problemática, usando herramientas como diagramas de causa-efecto y análisis estadísticas se busca Validar específicamente los factores que están afectando el desempeño de los procesos, esta etapa permite actuar sobre las fuentes del problema para disminuir su variación

Improve (mejorar): se diseñan las soluciones más acordes al problema, al tener la definición, medición y el previo análisis se puede iniciar con la etapa de encontrar las soluciones específicas que controlan la variación y generen mejoras reales y sostenibles al proceso, demostrando resultados cuantitativos que den justificación a los proyectos.

Controlar: una vez ejecutadas las mejoras a la problemática se realiza el debido control, por medio de sistemas de monitoreo y de control permanente, tales como auditorías, gráficos de control y estandarización de los procesos.

La implementación de la metodología DMAIC es importante para oficializar la información del problema y dar solución oportuna para disminuir variabilidad y errores en el proceso logístico.

Interacción de Six Sigma con Tecnologías Emergentes e Inteligencia Artificial en la Industria. La aplicación de six sigma con tecnologías emergentes e inteligencia artificial potencian la eficacia para abordar las problemáticas presentadas en ellos procesos logísticos de la cadena de suministro en diversos ámbitos, dando adaptaciones integrales de innovación superando las limitaciones de los procesos tradicionales, brindando capacidades avanzadas de optimización dinámica para la cadena de suministro y todas las operaciones industriales. Tecnologías emergentes como lo son el blockchain y el machine learning que se enfocan en esta investigación son parte importante que trabajan con six sigma para adaptar los procesos y eliminar la variabilidad y generar correcciones acordes a las necesidades. y los errores y con el plus que dan las tecnologías de automatización, trazabilidad, transparencia y seguridad en los procesos, creando mayor sostenibilidad para la industria, aportando significativamente a la toma de decisiones.

Kaizen

La metodología Kaizen es el pilar fundamental de la mejora continua en la industria y sector empresarial, la filosofía de kaizen involucra todos los procesos y áreas de una organización con el fin de ejecutar acciones de mejora pequeñas, sostenibles y constantes en los procesos, los productos y los servicios que se ofrecen al consumidor final. Kaizen trabaja juntamente con lean manufacturing para lograr alineamiento en todos procesos y por supuesto generar la mejora continua.

Beneficios de Mejora Continua Claves del Enfoque Kaizen en la Industria.

Incremento de la productividad: por medio del desarrollo de kaizen en la industria se visualiza incremento significativo de en la productividad, con la eliminación sistemática de mermas, y la optimización de procesos, con participación de los empleados por medio de nla 5s las cuales juegan un papel importante en este sentido industrial, además la estandarización de Kaizen en los procesos indican logros importantes en el crecimiento productivo de las organizaciones.

Mejora de la Calidad: la mejora continua en los procesos implica una mejora importante en la Calidad del producto y asimismo en los procesos de la cadena de suministro, lo cual reduce la variabilidad y minimiza los defectos, incrementando la confianza y gusto del cliente.

Disminución de tiempos de entrega: trabajando juntamente con lean manufacturing se centran en los factores mencionados en estos apartados y como se indica en este, en la disminución de los tiempos de entrega, siendo parte fundamental para la aceptación y calidad del proceso que evidencia el cliente

Flexibilidad y adaptabilidad: uno de los beneficios que otorga kaizen es dar mayor flexibilidad y adaptabilidad a los procesos sin dejar de lado los procesos innovadores para que la operación se dé manera más ágil y dinámica.

Reducción de costos: Kaizen ofrece menor cantidad de retrasos y reprocesos, optimiza el uso de recursos y reduce el inventario innecesario, dando mayor utilidad al tiempo de producción y distribución, generando una línea logística más sostenible.

Las empresas que manejan este tipo de herramientas que ofrece la metodología kaizen logran obtener mayor alcance de la innovación y mejoramiento de todos los procesos de la cadena de suministro industrial, generando mejora continua, otorgando entonces éxito en la industria.

Contextualización de Sostenibilidad y Optimización de los Recursos en la Cadena de Suministro.

En el entorno empresarial que pertenece a la cadena de suministros es clave tener presente estos ejes estratégicos para así mismo lograr eficiencia en las operaciones que se realizan y que sean rentables sin perder el enfoque a la responsabilidad ambiental que se debe tener en el uso de los mismos procesos. La importancia del liderazgo y el conocimiento pueden ser el impulso para lograr la optimización de los recursos, sostenibilidad e innovación (Santos, 2022, pág. 732). De acuerdo con los desafíos de impacto social, económico y de impacto ambiental. Si se utiliza la IA en los procesos de la cadena de suministros puede lograr mejorar la reducción de costos y emisiones, pero se tiene que utilizar cuidadosamente en la toma de decisiones de planificación e implementación.

Ineficiencia Energética y la Gestión de Recursos

Son aspectos críticos que pueden tener impacto en la sostenibilidad tanto en la rentabilidad de los procesos, en el caso de la ineficiencia energética se involucran varias etapas como: el consumo de energía, el transporte, en almacenamientos, en los mismos procesos de producción. Lo cual puede llevar a la falta de optimización en las actividades que se realizan en uso excesivo de los recursos, por ejemplo:

Procesos logísticos (como el picking) sin automatización ni planificación óptima., sobreproducción que consumen más energía de la necesaria como iluminación, climatización y maquinaria sin eficiencia energética, rutas largas por mala planificación. procesos que generan mermas excesivas, productos que caducan sin uso, uso excesivo de agua, energía o materias primas en procesos productivos.

Por otro lado, la gestión de recursos en la cadena de suministros es el conjunto de prácticas y herramientas que permiten planificar, asignar, utilizar y controlar. Es importante ya que es clave para lograr el cuidado de estos. La buena gestión de los recursos depende el poder reducir los costos y evitar desperdicios en cuanto a costos de materiales, energías, mano de obra, tiempos, información y capital de una organización. La gestión de la cadena de suministro tiene un impacto significativo en la eficiencia de las empresas. Esto incluye tanto la gestión interna de los recursos (como la producción) como la gestión de los recursos en las interacciones externas con proveedores y clientes. La adopción y la correcta utilización de las TIC son cruciales para optimizar la cadena de suministro, mejorar la eficiencia y lograr una ventaja competitiva. (García, 2018, pág. 48). Los puntos clave que debes tener en cuenta para la gestión y aplicación de modelos de IA en la gestión de recursos:

Tener objetivos claros los cuales guiarán el desarrollo adecuado del modelo de IA, seleccionar el modelo de IA apropiado y adecuado al proceso ya que no todos son iguales. infraestructura tecnológica robusta que incluya capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos, plataformas de desarrollo e implementación de IA, monitoreo y evaluaciones continuas para saber los estados métricos de rendimiento claras.

Economía Circular

Esta hace enfoque a la innovación que busca poder reutilizar los recursos, reciclarlos y lograr valorizar el producto. La economía circular tiene como objetivo reducir las mermas y hacer aprovechamiento al máximo de los productos que quedan disponibles. La logística inversa es clave en el modelo de economía circular, el abastecimiento responsable y la gestión en la cadena de suministros son de gran importancia (Guerra, 2019). En lugar de descartar los productos antes de su vida final útil, se puede hacer uso de estos para que se mantengan en uso por mayor tiempo posible. Ejemplo: rediseñando productos que se puedan reparar, reutilizar o reciclar, minimizar la compra de productos que no tienen mayor rotación y se pueden suplir con otros ya usados. reciclaje y gestión de residuos y garantizar aprovechamiento de estos ya sea con la misma organización o con terceros.

Sostenibilidad Operativa

Se refiere a las etapas que se tienen en la cadena de suministros desde la adquisición de materias primas hasta el proceso de producto final, lo cual es crucial hoy en día para los procesos de la cadena de suministros debido a los desafíos ambientales y sociales. La sostenibilidad operativa tiene en cuenta la responsabilidad, eficiencia y rentabilidad. “Esto implica la adopción de prácticas coeficientes, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la

conservación de recursos naturales y la promoción de la economía circular” (Rodriguez et al., 2024, pág.2).

Puntos claves para tener en cuenta:

Eficiencia operativa: Capacidad de poder ejecutar los procesos productivos y logísticos teniendo en cuenta el mínimo uso de recursos posibles sin perder el enfoque en la calidad del producto y servicio. Para aplicarlo se puede iniciar con la optimización de rutas para reducir el uso de combustible.

Responsabilidad ambiental: Impacto ambiental que tiene adecuada gestión de los residuos, elección de proveedores con prácticas sostenibles y uso de energías renovables. Para poder aplicar se puede hacer con el reciclaje o con la implementación de un plan de economía circular.

Responsabilidad social: Logra garantizar las condiciones laborales y genera un importante impacto positivo en las partes involucradas en los procesos de la cadena de suministros de las empresas, para poder aplicar este punto se tiene que tener en cuenta: Condiciones seguras para los colaboradores, pagos justos y acordes a los del mercado actual, unos de los puntos claves para poder aplicarla son:

La buena gestión de los recursos naturales: En este caso podemos hablar sobre disminuir el uso de agua y energía generando conciencia del buen uso de esos. En el caso de las empresas que cuentan con materias primas renovables o reciclados.

Reducción de mermas: Monitorear constantemente los procesos y el uso de materiales para que se puedan utilizar de acuerdo a las necesidades sin desperdiciar cantidades que se

pueden utilizar más adelante en próximos procesos o en el caso de reciclaje como cartones, plásticos, restos orgánicos y vidrios.

Prevención de contaminación: Implementar medidas que puedan impactar de una manera positiva al cuidado ambiental, realizando una gestión adecuada de residuos peligrosos.

Gestión de residuos: Es la sostenibilidad operativa de la cadena de suministros, la cual es sostenible y resiliente en el modelo de tomar, hacer y desechar. Teniendo en cuenta el enfoque circular donde los recursos se mantienen en uso hasta su vida final útil. lo cual genera un impacto ambiental positivo y crea nuevas oportunidades de valor a largo plazo de materias primas.

Sustento Teórico de Innovación en la Cadena de Suministro

Innovación Tecnológica como Eje Central de la Competitividad en la Logística

La tecnología permite tener una mejor gestión en los procesos de la cadena de suministros, esta actúa como un conjunto de herramientas y estrategias que logran optimizar el flujo de una manera adecuada para que esta sea más eficiente, flexible y resiliente. La innovación tecnológica juega un papel importante en la competitividad de la logística desde la gestión que se realice desde los procesos de planeación, ejecución y control, entre estos se pueden tener en cuenta:

Mejora en visibilidad y trazabilidad: esta permite anticipar problemas que se puedan presentar a tiempo para buscar una pronta solución y así mismo tener un contacto directo con el cliente final del estado actual de su pedido y si este llega a tener algún retraso, esto se puede evidenciar con ayuda de sensores y blockchain.

Mayor flexibilidad y adaptación: Facilitar respuestas rápidas respecto a cambios continuos de la demanda o de las situaciones que se pueden presentar en la cadena de suministros.

Mejora entrega y experiencia en el cliente final: Se logra contar con la fidelización del cliente gracias a las entregas rápidas, seguras y predecibles las cuales son monitoreadas para brindar un servicio de calidad y eficiente frente a la competencia directa.

Otros aspectos claves que pueden funcionar para mejorar la gestión en la competitividad por medio de la innovación tecnológica en las empresas son:

Transformación Digital: Transición hacia la cadena de suministro 4.0, caracterizada por la digitalización completa y el flujo de información en tiempo real, lo cual es esencial para la toma de decisiones autónoma y eficiente.

Tecnologías Disruptivas: Tecnologías específicas como blockchain, inteligencia artificial, IoT, automatización, drones, vehículos autónomos e impresión 3D, que están transformando la logística al mejorar la trazabilidad, la predicción de la demanda, la eficiencia en las entregas y la personalización de productos (Jofra et al., 2018).

Enfoque en el Cliente: Innovación tecnológica permite añadir valor a la experiencia del usuario, mejorando la calidad del servicio y reduciendo ineficiencias operacionales.

Desafíos y Oportunidades: Estas tecnologías implican desafíos en términos de inversión, especialización, estandarización y regulación, pero también ofrecen oportunidades para mejorar la competitividad y la eficiencia en la cadena de suministro (Jofra et al., 2018).

Como se observa en la Figura 2, la innovación inicial en los centros logísticos promete un futuro sostenible para la cadena de suministro industrial

Figura 2

Innovación de la Cadena de Suministro



Nota. Centros Logísticos Tecnológicos para un Futuro Sostenible. *Fuente.* Gemini (2025)

Impacto de la Transformación Digital en el Éxito de la Cadena de Suministro

La transformación digital de las empresas se entiende como la reinención de los procesos y recursos de una empresa, con el fin de adecuar sus objetivos a un mundo más inteligente y digitalmente empoderado.

Figura 3

Transformación Digital en la cadena de suministro



Fuente. Gemini IA. (2025)

La Figura 3 muestra un almacén futurista y automatizado con robots y drones que facilitan la gestión del inventario y el cumplimiento de los pedidos. También se representa la integración de plataformas basadas en la nube, análisis impulsados por IA y tecnología blockchain, destacando el papel de las tecnologías digitales en la mejora de la transparencia, la trazabilidad y la eficiencia general. El fondo presenta una red de líneas interconectadas, que simbolizan la interconexión global de las cadenas de suministro en la era digital.

Dentro del impacto de la transformación digital se tienen en cuenta factores fundamentales con los cuales las empresas conviven diariamente para el éxito en los procesos dentro de la cadena de suministro.

Complejidad y Competitividad: En un mundo globalizado e hiperconectado, las organizaciones enfrentan una creciente complejidad, y la mejora continua de la competitividad se vuelve esencial para la supervivencia.

Oportunidad de las Tecnologías 4.0: Las tecnologías 4.0 ofrecen una oportunidad para cambios radicales en la producción y la cadena de suministro, exigiendo mayor flexibilidad y eficiencia.

Impactos de la Logística 4.0: Se analizan las perspectivas e impactos de la Logística 4.0 en la gestión de la cadena de suministro, buscando mejorar el desempeño logístico y reducir la brecha entre mercados emergentes y países desarrollados.

Transformación Digital y la Información: La transformación digital influye en la generación, manejo y uso de grandes volúmenes de información, el uso eficiente de recursos y el seguimiento de envíos.

Naturaleza Integral de la Transformación Digital: La transformación de la cadena de suministro no se limita a la adquisición de tecnología, sino que requiere un proceso complejo e integrador que involucra todas las áreas del negocio, con un papel crucial del capital humano y la estrategia.

Metodología

Marco Inicial de Mejoras Continuas en la Cadena de Suministro Industrial Mediante la Implementacion de IA y Metodologias Lean, Six Sigma y Kaizen.

Evolución de la Gestión de la Cadena de Suministro Industrial

Alonso (2014) señala que, el concepto Supply Chain (SC) apareció por primera vez gracias a Houlihan en 1985 definiéndolo como un sistema de entidades (proveedores, fabricantes, almacenadores, distribuidores, vendedores y clientes) en los cuáles existe un flujo de materiales, y la información fluye en ambas direcciones. (pag.32). La cadena de suministro hace referencia a las empresas que disponen productos o servicios en el mercado acorde a las necesidades del cliente final en cuanto a calidad, tiempos de entrega y servicio, la cadena de suministro a través de los años a evolucionado significativamente al integrar dentro de sus procesos nuevas tecnologías y el cambio constante de las expectativas de la industria y los consumidores. Antes, en la gestión de la cadena de suministro las empresas realizaban sus operaciones de forma fragmentada con una visión menos estrategia a la que existe hoy en día, dentro de las actividades como la adquisición de materias primas, producción , distribución y venta eran ejecutadas de forma individual encontrándose en una etapa básica de desarrollo, sin embargo, los cambios y las exigencias en el mercado que cada vez son más competitivos impulsan el desarrollo y la transformación de los procesos de SC. En los años 50 y 60 las empresas identifican la logística como parte clave para el manejo de los procesos y el flujo de los productos y materiales, dentro de lo cual se inicia con el enfoque de desarrollo y optimización de la gestión de inventarios, almacenamiento, distribución y transporte. La logística se empieza a estandarizar y de igual forma a adoptar mejoras en la eficiencia con los primeros intentos de reducción de pérdidas, aumentando el flujo correcto del inventario, aunque se usaban sistemas

como tarjetas Kardex, registros en papel de forma manual, revisión de inventarios de forma periódica y el uso de computadoras primarias en esta época se buscaba aportar significativamente a la implementación de buenas prácticas en la cadena de suministro. Para los años 90 se identifica una evolución estratégica y globalizada en el enfoque de la cadena de suministro y pasa a ser vista como un proceso operacional esencial para la industria, iniciando a externalizar sus operaciones para acceder a mercados internacionales y crear relaciones estratégicas con proveedores claves para el éxito, asimismo se consolidan conceptos como la gestión integrada de la cadena de suministro (SCM), concepto del cual se despliega la adopción de un software específico que permite la coordinación entre proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores, facilitando las relaciones comerciales entre las diferentes partes de la cadena de suministro, aportando al mejoramiento del flujo de los procesos de inventarios, compras, producción, distribución, ventas y transporte.

Actualmente la gestión de la cadena de suministro se presenta de forma más avanzada, con la incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial, IoT (internet de las cosas), SCM (sistema de gestión de la cadena de suministro) integrados con ERP (Enterprise Resource Planning), blockchain, machine learning, la industria 4.0 además del manejo e implementación de metodologías como Lean, six sigma y kaizen dentro de los procesos logísticos. Es importante mencionar que en el ámbito del avance de la cadena de suministro se presentan algunos pilares que son fundamentales dentro de la cadena de suministro los cuales han tenido un impacto significativo en el desarrollo y avance de la industria. En primer lugar, se encuentra el Big data y el análisis de datos lo cual comprende la evaluación integral de grandes volúmenes de datos contribuyendo a la toma de decisiones en tiempo real, por otra parte, la simulación ha sido clave para la optimización de sistemas al proyectar los datos físicos en un modelo virtual, así mismo

los robots, lo cuales son autónomos, que logran la interacción de forma segura y aprenden de las características humanas para el desarrollo de actividades.

Todos los avances tecnológicos mencionados han aportado a la transformación y optimización de los procesos logísticos de la industria permitiendo que los procesos sean más rápidos, eficientes y de mayor calidad, garantizando diversos beneficios en la planificación, toma de decisiones, la sostenibilidad, la seguridad de la información, reducción de mermas, tiempos de respuesta y reducción de costos de operación.

Conforme avanza la cadena de suministro permanece en constante evolución, lo que asegura la integración de nuevas tecnologías emergentes y metodologías avanzadas en los procesos, garantizando respuesta rápida y proactiva a los constantes avances del mercado y la optimización de los recursos, la toma de decisiones en tiempo real y la disminución de riesgos operativos. La implementación de la inteligencia artificial con enfoque en las metodologías Lean, Six sigma y kaizen promete una nueva era en la gestión de la cadena de suministro industrial, potenciando la innovación y la eficiencia asegurando la sostenibilidad de los procesos.

Implementación y Beneficios de la Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes en la Cadena de Suministro

Teniendo en cuenta la implementación de estos dos enfoques IA y tecnologías emergentes en la cadena de suministros industrial logra obtener una mejora continua con Lean, Six sigma y Kaizen. permitiendo una transformación en los procesos de las operaciones y logrando obtener mayor eficiencia, competitividad y calidad en cada área involucrada. Sin perder el enfoque de satisfacer las necesidades del cliente final y los desafíos que se encuentran en el mercado frente a la competencia. Los beneficios que se tienen al implementar estas herramientas

en las organizaciones pueden ser positivas en cuanto a reducción de costos: transporte, producción y optimización de inventarios, mejora la toma de decisiones: obteniendo datos reales más eficientes y precisos, mayor agilidad: adaptación rápida de cambios continuos de acuerdo a la demanda y facilidad de buscar soluciones en caso de que ocurra alguna novedad en los procesos, mayor calidad y consistencia: reducción de errores humanos con apoyo de IA, sostenibilidad: reducción de desperdicios en materiales. En cuanto a las tecnologías emergentes como (Lot) internet de las cosas, por ejemplo: sensores inteligentes que permiten el monitoreo en tiempo real de la mercancía para facilitar la visibilidad de los procesos operacionales la cual permite también obtener respuestas rápidas en caso de que se encuentren interrupciones. En el caso de Blockchain la cual asegura la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministros, permite que se pueda tener información confiable desde el origen del producto, el estado y el proceso de transporte de este. “La aplicación de la inteligencia artificial en la cadena de suministro es un tema de investigación en constante evolución y muy reciente, por lo que no existen aún teorías establecidas o estandarizadas” (Rodriguez,2022, pág.15). En lugar de teorías, se puede decir que existen enfoques y modelos propuestos por diferentes investigadores y profesionales en la industria. De las cuales podemos aplicar y hacer un buen uso de cada una de ellas con el fin de lograr los objetivos y la mejora continua de las organizaciones de la mano con la innovación y en busca del crecimiento en la industria.

Interacción entre Lean, Six sigma y Kaizen para la Eficiencia y Mejora de la Optimización de los Procesos

Estos tres conceptos son claves en los procesos y optimización de estos dentro de la cadena de suministros cada una de estas metodologías tienen sus propias características, pero cuando son utilizadas las tres juntas son poderosamente estratégicas para poder lograr una

eficiente mejora continua en las actividades y ayuda a reducir las mermas. En resumen, LEAN ayuda a eliminar las mermas y permite optimizar el flujo de trabajo que se tiene en las actividades, SIX SIGMA mejora continuamente los procesos que se involucran en la organización mejorando la parte de calidad y validando que se cumpla las variables de acuerdo con los datos y KAIZEN promueve mejorar todos los procesos y niveles que se tengan en la organización. Se puede realizar las siguientes interacciones de estos métodos:

Lean y six sigma juntas son metodologías que ayudan a eliminar desperdicios y mejorar la calidad, creando un entorno de procesos ágiles y precisos en la cadena de suministros (Pascual, 2021).

Kaizen puede implementarse dentro del marco de Lean para impulsar la mejora continua. Si Lean se enfoca en eliminar desperdicios, Kaizen puede impulsar pequeños ajustes diarios que perfeccionen aún más los procesos. Ambos enfoques buscan involucrar a todos los empleados en el proceso de mejora, creando un entorno colaborativo en el que todos buscan constantemente formas de optimizar y mejorar.

Six Sigma se basa en datos y análisis rigurosos para identificar causas raíz y mejorar los procesos, mientras que Kaizen se basa en la mejora continua y el trabajo en equipo para proponer cambios constantes. Los cambios pequeños y constantes promovidos por Kaizen pueden ser reforzados y cuantificados mediante las herramientas estadísticas de Six Sigma. Kaizen puede ser útil para generar un cambio cultural en la empresa, mientras que Six Sigma proporciona las herramientas analíticas para medir y controlar el impacto de esos cambios.

En la Tabla 1 comparativa se puede evidenciar el antes y después de aplicar estas metodologías en la cadena de suministros:

Tabla 1

Comparativa Antes y Después de Aplicar las Metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen en la Cadena de Suministro.

Características del proceso	Antes (sin interacción en el proceso)	Después de la aplicación de Lean, Six Sigma y Kaizen
Eficiencia operativa de las actividades a realizar	Procesos lentos, tareas repetitivas y sin objetivos claros, tiempos muertos.	Flujo en mejora continua, eliminación de mermas, trabajo estandarizado y organizado.
Calidad del producto final y el servicio brindado.	Alta variabilidad de errores que son frecuentes en las actividades.	Procesos estables y seguros, reducción de defectos, mejora de la calidad total del producto.
Toma de decisiones para cumplir objetivos.	Basada en intuición o experiencia en el proceso, poco uso de datos.	Basada en análisis de datos reales, toma de decisiones con fundamento estadístico y para cumplir el objetivo planteado.
Participación del personal que hace parte de las actividades.	Poca iniciativa y dificultad para aceptar lo nuevo.	Equipos comprometidos y cultura de mejora continua.
Gestión visual y orden en los procesos y las herramientas de trabajo.	Áreas desorganizadas, difícil acceso a materiales e información general de procesos como inventarios.	Implementación de 5S, espacios ordenados, mayor productividad y competitividad.
Velocidad de respuesta antes situaciones que se presenten.	Lenta reacción ante problemas o cambio de planes de acuerdo con lo programado.	Capacidad ágil de adaptación gracias a herramientas como Kaizen.
Identificación de problemas que necesitan pronta solución.	Reacción tardía, resolución superficial.	Análisis de causa raíz y solución definitiva con herramientas six sigma.
Costo operativos y gestión de compra.	Altos desperdicios y reprocesos	Costos reducidos mediante mejora en procesos y control

		de calidad.
Satisfacción del cliente.	Baja por entregas tardías o calidad inconsistente.	Alta por cumplimiento, puntualidad y consistencia.
innovación en procesos.	Limitada, poco espacio para proponer ideas.	Fomento de ideas constantes desde todos los niveles (kaizen).

Fuente. Elaboración propia

Inteligencia Artificial Aplicada en la Gestion de la Cadena de Suministro Industrial

Principios de la Inteligencia Artificial Aplicados a los Procesos Logísticos y la Manufactura

La inteligencia artificial aporta significativamente a la logística que se encuentren involucrados en los procesos de la cadena de suministros ya que logra optimizar y agilizar los procesos, para que sean funcionales mediante análisis estratégico. Ayudando a mejorar la toma de decisiones, aumentar la eficiencia operativa, promover la sostenibilidad, aprovechar tecnologías transformadoras como el aprendizaje automático y el análisis predictivo, e impulsar la innovación.

Ayuda para tomar mejores decisiones: La inteligencia artificial se presenta como una herramienta clave para analizar información compleja y ayudar a las empresas a decidir de forma más inteligente en toda su cadena de suministro, desde cómo mover productos hasta cómo fabricarlos.

Hacer el trabajo de forma más eficiente: Una de las grandes metas de usar la IA es lograr que las operaciones sean más ágiles y rentables, optimizando cada paso en la logística y la producción.

Cuidar el planeta: La IA también se está utilizando como un camino hacia prácticas más responsables con el medio ambiente en la forma en que se gestionan las cadenas de suministro y los productos.

Tecnologías que cambian las reglas del juego: Herramientas como el aprendizaje automático (donde las máquinas aprenden solas), el análisis predictivo (para anticipar lo que va a pasar) y el internet de las cosas (objetos conectados) son los pilares de esta transformación impulsada por la IA.

Una nueva forma de hacer las cosas: La inteligencia artificial no es solo una mejora, sino una oportunidad para repensar y crear maneras completamente nuevas de operar en la logística y la fabricación.

Cómo la IA está transformando la gestión se da all integrar la inteligencia artificial, la manera en que se organiza y se dirige la cadena de suministro está experimentando un cambio profundo, haciéndola más inteligente y adaptable.

Entendiendo qué es y dónde se aplica la IA es fundamental comprender los conceptos básicos de la inteligencia artificial y todo el abanico de posibilidades que ofrece para aplicarla con éxito en el mundo de la logística y la fabricación.

Implementación de Tecnologías Transformadoras: Principios como el aprendizaje automático (machine learning) para el análisis predictivo y la adaptación, y el Internet de las Cosas (IoT) para la recopilación de datos en tiempo real, son fundamentales para la transformación digital de la logística y la fabricación.

Impulso a la Innovación: Se considera un motor para la innovación en el diseño de procesos, la creación de nuevos servicios y la mejora continua tanto en la logística como en la fabricación.

Evolución de la Gestión: Su integración está cambiando esencialmente la forma en que se gestionan las cadenas de suministro y los procesos de producción, haciéndose más inteligentes, adaptables y resilientes.

Machine Learning Aplicado en la Optimización de Inventarios y Predicción de la Demanda

La gestión del inventario y de la demanda se refiere a lograr un balance entre tener inventario alto e inventario bajo, a fin de no presentar inconvenientes en la demanda y de igual manera dar uso ineficiente a los recursos, por lo tanto, se deben tener en cuenta factores importantes en el proceso de gestionar la demanda y el control de inventarios, tales como la segmentación de los clientes y del producto o servicio, tener claro el pronóstico de la demanda y los factores externos e internos que influyen dentro del proceso, la flexibilidad, la adaptabilidad, la rotación del inventario y el uso de tecnologías emergentes. Por tal motivo se hace referencia en primera instancia a la inteligencia artificial la cual se refiere a la capacidad que tienen las máquinas para usar algoritmos, adquirir conocimiento a partir de los datos y aplicar este en la toma de decisiones, de manera similar a como lo haría un ser humano. Por lo tanto, no es más que la habilidad que tienen los ordenadores para ejecutar actividades que requieren de la inteligencia humana (Rouhiainen, 2018), No obstante, mediante la inteligencia artificial se desarrollan múltiples actividades dentro de la industria entre ellas el uso adecuado del inventario y la demanda, analizando amplios volúmenes de información con un mínimo de margen de error como lo presenta el uso de machine learning.

El machine learning forma parte del campo de la inteligencia artificial que contribuye a que los sistemas de forma automática aprendan a partir de los datos. El aprendizaje automático usa diferentes algoritmos para aprender de los patrones de los datos y utiliza el conocimiento adquirido para tomar decisiones. El machine learning en la predicción de la demanda crea modelos de pronósticos avanzados, analizando las tendencias, optimizando los precios de forma dinámica, entre otros, así mismo en la optimización del inventario contribuye en la reducción del exceso del inventario, la gestión avanzada y automatizada de pedidos dando visibilidad en tiempo real, optimizando de igual manera las rutas de distribución y la reducción de pérdidas a lo largo del proceso. La relación que existe entre los tres tipos de aprendizaje automático es aprender patrones a partir de los datos para garantizar la toma de decisiones y el control durante la gestión del inventario y la demanda. Los algoritmos que presenta el machine learning en el desarrollo de procesos de inventario y demanda dentro de la cadena de suministro son: redes neuronales, árboles de decisión, métodos de ensamble, bagging, Boosting, Random Forest, adaboost, Gradient Boosting, los cuales se usan generalizadamente en la regresión y clasificación de la información, capaces de realizar predicciones y toma de decisiones de forma explícita. La Figura 4 muestra la interacción de algoritmos en los procesos del machine learning.

Figura 4

Gestión Inteligente de Inventario y Demanda por Medio de Machine Learning.



Fuente. Gemini IA. (2025).

Redes Neuronales: Las redes neuronales buscan semejanza al funcionamiento más cercano del cerebro humano, con un tipo de modelo de aprendizaje automático, las cuales se integran por nodos llamadas “neuronas”, las cuales se encargan de procesar la información y los datos de entrada. Cada vez que los datos son transportados por la red, el margen de error disminuye, ya que las conexiones entre las redes neuronales son clave para desarrollar el aprendizaje de forma más dinámica, convirtiéndose en una herramienta efectiva para predicciones avanzadas. Cabe resaltar que el desempeño de la red neuronal puede depender de hiper parámetros. La selección adecuada de estos hiper parámetros es fundamental para lograr un rendimiento óptimo del modelo de automatización (Amat Rodrigo 2021).

Árboles de decisión: Se presentan como estructuras de aprendizaje versátil y potente las cuales tienen la capacidad de permitir una interpretación sencilla de datos, además son usados como técnica para captar relación entre las variables a diferencia de los modelos lineales, el árbol de decisiones permite crear un sistema que contiene múltiples opciones como predicción final. Por tanto, existen algoritmos de machine learning que combinan de forma explícita la respuesta generada por múltiples árboles y mediante métodos de ensamble estableciendo una única

predicción que puede ser más precisa, correcta y que da solución a los problemas de sobreajuste anteriormente mencionados.

Métodos de ensamble: Los métodos de ensamble hacen referencia a las técnicas que, mediante algoritmos débiles catalogados de este modo por su falta de resultados positivos durante el proceso, se unen para mejorar la precisión y robustez de los resultados. Los métodos de ensamble incluyen algoritmos como Bagging, Boosting y Random Forest. El Bagging es una técnica que consiste en afinar modelos de forma independiente, lo que implica seleccionar una muestra de forma aleatoria para registrar y estimar de forma más precisa el resultado.

El Boosting consiste en el aprendizaje secuencial el cual se constituye mediante modelos adicionales dando corrección a errores del modelo anterior, generando importancia a las observaciones para mejorar las áreas que necesitan avance en el proceso, beneficiándose de la relación que existe entre los modelos débiles para fortalecer y de forma precisa llegar al modelo final. Dentro del El Boosting se presenta Ada boost y Gradient Boosting, los cuales son métodos que entrenan modelos para corregir errores del modelo anterior, usando árboles de decisión débiles, buscando la precisión en la combinación de modelos débiles en fuertes, siendo usados debido a su rendimiento en la tarea de predicción de los procesos.

Por otra parte, el Random Forest es un modelo de múltiples árboles de decisión, basado en la técnica Bagging para usarlos en la predicción de salida, que mediante el término “bosque” el cual se usa para determinar el conjunto de árboles de decisiones y así dar mejorar a las predicciones

La interacción del machine learning como rama de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro más específicamente en la gestión de la demanda e inventarios aporta

significativamente en la optimización de los procesos logísticos, de igual forma el uso de algoritmos como las redes neuronales, los árboles de decisión y los métodos de ensamble son cruciales para la correcta toma de decisiones, disminuyendo pérdidas y evitando sobrecostos operativos, respondiendo de manera eficiente ante los cambios constantes de la demanda del mercado, creando soluciones acordes e innovadoras para abordar las problemáticas de manera más competitiva y dinámica.

Algoritmos de Optimización Aplicados a la Correcta Toma de Decisiones

Los algoritmos implementados en la optimización son primordiales durante la gestión de la cadena de suministro industrial, por su importancia en la toma correcta de decisiones, ya que garantizan la optimización de los recursos y la reducción de costos, mejorando los tiempos de respuesta. Los algoritmos son implementados de la mano con la inteligencia artificial y las tecnologías emergentes, las cuales a lo largo del desarrollo y cambios en el ámbito de la cadena de suministro han garantizado el éxito en muchas de las operaciones logísticas dentro de la misma, entregando estrategias acordes a las necesidades de la operación, estas tecnologías van alineadas con los principios de Lean, six sigma y kaizen, fundamentales para la correcta planificación, gestión, distribución y asignación de recursos. Dentro de las categorías principales de algoritmos implementados en la cadena de suministro se encuentran:

Algoritmos exactos: los algoritmos exactos se caracterizan como modelo que garantiza soluciones acordes a las necesidades de la operación logística en cuanto a inconsistencias de optimización de los procesos. Es de tener en cuenta que la aplicación de algoritmos exactos depende del tipo de problema operativo, así como los objetivos a tratar, con el fin de asegurar el desempeño óptimo de las condiciones logísticas, ya que tiende a tener un crecimiento

exponencial según la muestra asignada. Dentro de su ejecución se muestran los siguientes enfoques usados como algoritmos exactos en la cadena de suministros:

Programación lineal (PL): La programación lineal es un enfoque que se implementa en los procesos como solución de los desafíos operativos que ayuda directamente a la toma de decisiones, dado que se caracteriza por ser un modelo de optimización para gestionar inconsistencias en el área operativa, el control de calidad e inventarios, ajuste óptimo de los procesos en cuanto a costos, equipos, recursos, materiales entre otros.

Programación entera y mixta (MILP): El enfoque de la programación entera y mixta va dirigida y aplicada a la planificación de producción, transporte, distribución, estrategias operativas minimizando costos en el almacenamiento y producción considerando mejoras en la capacidad de demanda y en tiempos de entrega. Así mismo, permite estructurar un sistema de soluciones a problemas de alta complejidad y con restricciones en la red logística integrando inteligencia artificial y Big Data, además de trabajar juntamente con tecnologías avanzadas como: Machine learning y Blockchain.

Algoritmos heurísticos y meta heurísticos: los algoritmos heurísticos y meta heurísticos son importantes dentro del manejo de los procesos logísticos, siendo fundamentales ya que permiten dar estrategias de optimización de alta calidad ayudándose de enfoques exactos. Los problemas presentados dentro de los procesos logísticos muchas veces son de alta complejidad por ende estos algoritmos intervienen en la solución óptima y con mayor eficiencia para abordar desafíos logísticos avanzados.

En el proceso de aportar beneficios a la cadena de suministro los algoritmos heurísticos y meta heurísticos son significativos en la optimización y reducción de costos operativos y en el

incremento y mejora de los tiempos de entrega por medio de herramientas eficientes, además de brindar manejo de grandes volúmenes de datos, flexibilidad y adaptabilidad adaptándose a diferentes escenarios y restricciones de la red logística.

Algoritmos heurísticos: Los algoritmos heurísticos se presentan como herramientas fundamentales para la resolución de puntos críticos en la logística, el algoritmo busca soluciones eficientes a la problemática, cabe aclarar que su aplicación tenga un costo razonable lo que impide a muchas de las empresas realizar uso de estos sistemas, pero este tipo de herramientas hoy día se convierten de forma indispensable para el equilibrio logístico en la industria.

Como los expresa Arevalo (2021), para aplicar estos algoritmos es necesario tener el problema bien definido, es decir conocer las posibles entradas, la forma de la solución, así como la función objetivo. De esta manera se podrá aprovechar el conocimiento adquirido por los figurantes implicados en el problema (pág.11).

La heurística ofrece un alto reconocimiento de las limitaciones operativas para dar soluciones acordes a las necesidades, de igual forma los algoritmos heurísticos se aplican en diversas industrias pero más enfáticamente en los procesos de logística, producción, manufactura, transporte , retail, finanzas y el comercio electrónico, aportando técnicas esenciales en diferentes campos, con apoyo de principios de la ingeniería mejorando los procesos de forma eficiente y potenciando la toma de decisiones.

Algoritmos metaheurísticos: Los algoritmos metaheurísticos hacen referencia a las técnicas avanzadas de optimización aplicadas a la cadena de suministro, especialmente en la toma de decisiones planificaciones estratégicas y operativas, con el fin de desarrollar métodos óptimos con enfoques tradicionales tales como la programación lineal y los algoritmos exactos,

además de usar algoritmos tales como, algoritmos genéticos(GA), algoritmos en colonias de hormigas (ACO), optimización por enjambre de partículas (PSO), cruciales para la planificación de la red logística y de los procesos asignación de recursos, selección de proveedores estratégicos, producción y distribución, ajuste óptimo del transporte, minimizando costos y tiempo de entrega y combustible.

Las metaheurísticas se caracterizan por resolver y obtener soluciones acordes y mejores resultados.

Arevalo (2021) aborda que, “Las metas heurísticas son una clase de métodos aproximados diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los mecanismos estadísticos” (Pág.12). Los algoritmos metaheurísticos representan una evolución destacada en la resolución de ineficiencias complejas conforme a su capacidad diseño de algoritmos híbridos lo que facilita la adaptación más fácilmente a las problemáticas presentadas siendo así una herramienta esencial en la práctica y la investigación, permitiendo un sistema estratégico para a industria y sus procesos logísticos.

Como se indicó anteriormente uno de los algoritmos destacados para la optimización de la red logística son los algoritmos en colonias de hormigas (ACO), los cuales refieren al comportamiento que tiene las hormigas en la naturaleza como es la forma que viabilizan para encontrar el camino más corto entre la fuente de alimento y su nido, haciendo uso de feromonas las cuales las usan para comunicarse y encontrar las mejores rutas para su desplazamiento.

Los algoritmos en colonias de hormigas (ACO), funcionan mediante hormigas virtuales que son capaces de dar solución a las problemáticas, la construcción de estas soluciones se desarrolla mediante las feromonas. “Gracias a la visibilidad y a la actualización de la feromona aumenta la probabilidad de escoger el camino más corto y el algoritmo converge hacia una solución óptima o cercana al óptimo del problema” (Arevalo, 2021, pág.16). También se encuentra en la aplicación de este algoritmo la medición de la calidad, la actualización de feromonas lo cual mejora la probabilidad en la solución de las problemáticas, así mismo con la evaporación de feromonas para mitigar cuellos de botella y estancamientos durante las soluciones, finalmente realizan repetición de los pasos lo que asegura el proceso para alcanzar un criterio seguro dando mejora continua y aportando directamente a la correcta de decisiones durante los procesos.

Los algoritmos y métodos exactos, heurísticos y metaheurísticos, se aplican a la optimización de la cadena de suministro y como se evidencia aborda directamente soluciones de mejora continua que aportan significativamente a los procesos, creando un recurso completo para los profesionales en la logística y la correcta toma de decisiones directamente.

Impacto de las Tecnologías Emergentes Implementadas en la Cadena de Suministro

Aplicación de Blockchain en la Transparencia y Trazabilidad de la Cadena de Suministro

El Blockchain se cataloga actualmente como una de las tecnologías más influyentes en el mejoramiento de la transparencia y trazabilidad de la gestión de la cadena de suministro juntamente con la inteligencia artificial ya que tiene la capacidad de para acaparar y registrar datos de forma constante siendo bastante viable que permite que todos los procesos y partes de la cadena de la cadena de suministro tengan acceso a la información en tiempo real.

El uso del blockchain, facilita el recorrido del inventario desde el lugar de recibo y/ origen hasta la distribución al consumidor final, al igual posibilita el acceso a la información y seguimiento en tiempo real a todos los actores presentes en los procesos logísticos como lo son los proveedores, fabricantes, clientes, distribuidores y aliados reduciendo el riesgo de fraude y falsificación de la información mediante las redes fraudulentas. Durante la aplicación del blockchain se ejecuta la automatización de procesos primordiales en la industria como lo son el cumplimiento de acuerdos en las diferentes áreas de la cadena y el gestionamiento de pagos, generando eficiencia en los procesos al igual que disminuyendo costos en intermediarios. La intervención del blockchain se generalmente se evidencia en las industriales alimentarias, manufactureras, de logística y transporte, estas industrias conllevan dentro de sus procesos operativos gran cantidad de ineficiencias en sus procesos en los cuales la aplicación de esta tecnología se da de forma correcta y puntual a las problemáticas generando soluciones acordes a lo que requiere cada necesidad. En la industria alimentaria el uso del blockchain es fundamental en el rastreo de alimentos para garantizar la autenticidad a fin de entregar al cliente final el producto en óptimas condiciones.

En la industria manufacturera el blockchain cumple un papel fundamental en cuanto a los beneficios que ofrece en el mejoramiento de la trazabilidad y la seguridad de los datos, dando una eficiente gestión en los procesos de la cadena de suministro. Por medio de la trazabilidad y la transparencia permite monitorear cada una de las etapas de los procesos productivos y de distribución en un libro financiero inalterable, facilitando la localización de forma rápida de los lotes que necesitan control de calidad, dando un aporte significativo a la confianza de los clientes finales y de igual forma a los socios comerciales al facilitar la información de manera más confiable y verificable entregando correctamente los datos sobre la calidad de los productos. Esta

tecnología también ofrece a las industrias manufactureras la seguridad y privacidad de los datos que requieren de mayor control, protegiendo la información de producción de fraudes, manteniendo la calidad autenticidad de los insumos y documentos, de la misma forma ofrece una mejora continua en la ciberseguridad industrial con ayuda de herramientas como el internet de las cosas (IoT) para automatizar la verificación y la evaluación de los procesos industriales, reduciendo errores en áreas como inventarios, registrando transacciones del sistema en tiempo real, permitiendo coordinación precisa del movimiento de los productos, además es capaz de rastrear el ciclo de vida del inventario proporcionando información precisa y valorando el consumo de recursos y procesos de producción reduciendo mermas.

El blockchain en la logística y transporte aporta de manera eficiente la correcta trazabilidad del movimiento del inventario, desde el recibo al proveedor hasta la entrega al cliente final, minimizando maniobras incorrectas durante el transporte de la mercancía, garantizando el éxito en las entregas, eliminando de forma constante costos administrativos que resulten ser innecesarios. La implementación del blockchain en la optimización de la gestión de transporte facilita a las industrias en el proceso de coordinación sincronizada entre los clientes, el transportador, mejorando la planificación de las rutas y cumpliendo con los indicadores de puntualidad y entregas eficientes, registrando la ubicación en tiempo real y cumpliendo con las condiciones de envío pactadas y la calidad del producto. En procesos como la facilidad de cargas y la automatización de pagos mediante mecanismos de transición autónomos, agilizando y conservando el correcto procedimiento operativo de la cadena de suministro.

Transparencia del Blockchain en la cadena de suministro. La tendencia de la transparencia del blockchain dentro de la cadena de suministro asegura la calidad de los productos, siendo uno de los pilares importantes en la gestión de los procesos industriales

ejecutando viabilidad y confianza en los movimientos y transacciones en el flujo logístico, evitando riesgos y discrepancias en la relación de datos.

La transparencia en los procesos industriales representa un rediseño y transformación organizacional en las cuales las empresas pueden manejar de manera segura coordinar, optimizar y monitorear los sistemas de trabajo aún más cuando hay más actores logísticos en el flujo operacional.

La implementación de la transparencia en la cadena de suministro se da en primer lugar mediante el registro permanente y seguro de los datos operativos, indicando en los procesos como compras, producción, control, despacho y entrega el registro de la información quede de forma segura y encriptada en una red descentralizada, eliminando posibilidad de modificaciones para garantizar los datos reales de las transacciones logísticas del proceso. Este sistema ayuda a que se pueda identificar si por parte del proveedor el despacho del inventario de cargue acordado se esté dando sin errores y con el sistema correcto de la información a detalle y los productos no presenten ningún tipo de manipulación diferente a la autorizada y acordada. Además, de esto se tiene acceso directo a la distribución y la autenticación de la información, sin embargo, es importante mencionar que en los procesos se evidencian ineficiencias que afectan el correcto flujo logístico. Para contextualizar un ejemplo como lo fue el Covid 19, el cual generó interrupciones significativas en las cadenas de suministro a nivel global, impactando directamente los flujos de demanda y oferta, además de provocar desafíos logísticos, lo que llevó a las empresas a generar estrategias de flexibilidad y resiliencia para dar continuidad con los mercados comerciales.

El efecto que produjo el escenario mencionado anteriormente dio paso a la transformación tiempo después de los procesos logísticos al implementar tecnologías emergentes con nuevas transformaciones como el blockchain capaces de controlar los procesos de manera óptima llegando a más industrias y especializándose en la incorporación de procesos acordes a las necesidades de la industria. Continuando con la investigación se indica que el sistema blockchain junto con la inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT), pueden entregar de forma detallada y de forma transparente la trazabilidad del inventario interviniendo en la prevención de la manipulación incorrecta y adulteración de los productos, dando un alto valor a los procesos, en áreas como la planificación, gestión de riesgos, la relación con proveedores, auditorías y satisfacción del cliente, la trazabilidad del blockchain mejora el desempeño logístico y fortalece la integridad de los procesos desarrollados del Lean y six sigma en la cadena de suministro, aumentando la calidad y el control industrial.

La Trazabilidad y Seguridad del Blockchain en la Cadena de Suministro. La trazabilidad como parte fundamental de la gestión del inventario en la cadena de suministro se da a partir del interés que tienen los consumidores en el proceso de manipulación de los productos. En este escenario, los consumidores muestran interés de manera creciente por conocer la trazabilidad de los bienes y servicios que adquieren, no obstante, los sistemas tradicionales de la cadena de suministro no poseen la capacidad para responder a estos intereses debido a la vulnerabilidad que tienen los datos actualmente, reduciendo la confianza de los actores que hacen parte de la cadena de suministro. Por tal razón, la implementación y aplicación de tecnologías como blockchain actualmente evoluciona el proceso de la trazabilidad del inventario brindando más seguridad al cliente, dan un concepto detallado e informativo del origen de la materia prima, los procesos de transformación y el ensamble del producto, las condiciones en las

cuales se almacena, las certificaciones que posee el producto y que cumpla con las condiciones que ofrece, así mismo la seguridad que ofrece blockchain en el monitoreo de los procesos es un componente esencial en la búsqueda de la transparencia en los flujos de trabajo, por medio de sistemas algoritmos de optimización. En sectores sensibles como lo son la salud, el sistema alimentario y farmacéutico, el blockchain otorga herramientas que permiten establecer el control continuo de factores importantes como la productividad, calidad y sostenibilidad de los modelos de operación, al igual que la toma correcta de decisiones que aportan al buen desarrollo y registro transparente de la cadena de valor.

La trazabilidad y seguridad en la cadena de suministro resalta, prioriza y concatena la validación, el registro del producto, la certificación de origen de la materia prima, el debido cumplimiento de las normas sanitarias, el control de la autenticidad de medicamentos en farmacéutica, la correcta trazabilidad de los lotes, el cumplimiento de normas ISO 9001 en proceso de electrónica industrial, así como el historial de mantenimiento, en áreas como textil, el reconocimiento de la trazabilidad primordial en el cumplimiento de los estándares de calidad y criterios ambientales, de la misma forma en áreas logísticas y de transporte la trazabilidad permite el registro y seguimiento continuo de la mercancía, verificación y control. Estos factores fundamentales de la cadena de suministro ofrecen la trazabilidad y seguridad, mediante el blockchain para desarrollar un flujo transparente dentro de la cadena de valor y ciclo del producto. En ese orden de ideas la aplicación y ejecución de esta tecnología revoluciona los procesos y ofrece más confianza a los consumidores. Como se evidencia en la Figura 5, el blockchain actúa en medio de todos los actores (Proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores) de la cadena de suministro brindando acceso seguro a la información y datos.

Figura 5*Blockchain en la Trazabilidad y Seguridad de la Cadena de Suministro*

Nota. Uso del sistema Blockchain por todas las partes que conforman la cadena de suministro.

Fuente. Gemini IA. (2025).

La tecnología del Blockchain se consolida como una herramienta importante en la gestión de la cadena de suministro, ya que optimiza los flujos de transacción y reduce los intermediarios, aumentando la velocidad de las operaciones, garantizando la integridad de los datos e información. Esto indica que es fundamental en la estructura técnica del blockchain que en cada transacción se dé la eliminación de intermediarios y entregue a los procesos automatización transaccional, así mismo la descentralización y la excelencia operativa a fin de aumentar en la cadena de suministro la disponibilidad, la eficacia operativa y mejorar los principios de sostenibilidad, calidad y mejora continua.

En resumen, la tecnología del blockchain actúa de forma trascendental en la cadena de suministro industrial, consolidándose como pilar fundamental en la transparencia, trazabilidad y seguridad en los procesos logísticos moderno, la capacidad para garantizar la gestión adecuada

de los datos la posiciona como un agente crucial para lograr la eficacia operativa, la reducción de costos y el cumplimiento normativo. En casos como Walmart y Maersk se evidencia que el sistema trabaja de forma integral en beneficio del proceso logístico, asegurando la autenticidad, inocuidad, sostenibilidad y el éxito en los procesos, otorgando una transformación digital para las organizaciones, ayudando a crear estrategias técnicas e innovadoras que aporten y respondan de manera acorde a las necesidades cambiantes del mercado y potencien la investigación y desarrollo continuo del contexto industrial.

Automatización Mediante Robótica en los Procesos Logísticos y Almacenes

La automatización a través robótica sirve para realizar tareas que sean repetitivas, que sean de alto riesgo o tengan complejidad. Esta permite ayudar a la parte operativa de la cadena de suministros en los procesos que se requiera trabajar de manera autónoma, por ejemplo, en la aplicación en almacenes de picking y packing los cuales son apoyo para seleccionar productos y empacarlos para su destinatario final, la carga y descarga de productos los cuales manipulan pallets o contenedores. La automatización mediante robótica en los procesos logísticos y almacenes es una evolución constante e indispensable en la logística moderna. Su propósito fundamental es reemplazar acciones y pensamientos humanos con dispositivos eléctricos, mecánicos, neumáticos e informáticos coordinados por instrucciones digitales, permitiendo que los sistemas funcionen sin intervención humana directa. “En los últimos años, se han producido grandes cambios en los almacenes automatizados tanto en términos de diseño como en contextos de aplicación” (Puerta y Rodriguez, 2021, pág.1). La aplicación de la robótica en la logística y el almacenamiento: Se amplía de acuerdo con la gama de actividades incluyendo:

El almacenamiento de mercancía: los transe levadores automatizados hacen parte de un sistema que permite tener la visión por medio de una computadora. De los productos que se

reciben, se ubican y almacenan. No se trata solo de mover los productos, es realizar esta actividad de manera eficiente, precisa y densa posible.

Mejora de transporte interno: Se logra tener una operación de trabajo sin descanso de 24/7 en turnos que no son interrumpidos y ayudando a mejorar el rendimiento general del proceso logístico. Logrando mantener una velocidad constante y optimizada, eliminando las desviaciones y los tiempos muertos que pueden servir en los procesos de entrega.

Alistamiento o preparación de pedidos (picking): Ayuda a ser parte de la transformación y el cumplimiento de pedidos, logra mejorar los procesos de una manera ágil, precisa y altamente eficiente para lograr el éxito en la logística moderna. Aumentando la productividad, reduce los costos operativos, mejora la seguridad social y laboral de la organización, optimiza espacios y mejora la trazabilidad de inventarios y su visibilidad en el almacenamiento.

Control adecuado de inventario: Es vital para lograr la eficiencia operativa, satisfacer al cliente de acuerdo con sus necesidades y para lograr rentabilidad ya que evita tener un desabastecimiento, obsolescencia y errores de pedidos. Este es crucial para no tener pérdidas de ventas. La robótica contribuye de varias maneras en el control de inventarios dadas en la precisión de ubicación y trazabilidad las entradas y salidas registradas de manera automática y en tiempo real, la reducción en picking y embalaje donde se reduce notoriamente la probabilidad de seleccionar el artículo o la cantidad incorrecta, menos errores en el picking significan que el inventario se mantiene preciso al no haber discrepancias por envíos erróneos en el proceso de la cadena de suministro.

Avance en la Eficiencia Operativa Mediante la Integración de (IoT) Internet de las Cosas

El internet de las cosas (IoT), es la interconexión de objetos físicos como sensores, software y otras tecnologías que logran recopilar información a través de internet proporcionando datos en tiempo real sobre la ubicación, el estado y las condiciones de los productos, activos y vehículos. Con la capacidad de poder tener comunicación desde el inicio hasta su entrega final satisfactoria. Permitiendo que todas las partes involucradas en el proceso de la cadena de suministros tengan una imagen precisa en cualquier momento del estado en que se encuentra las actividades, logrando reducir la incertidumbre y permitiendo llegar a la toma de decisiones.

Los sensores: Utilizados para almacenes que pueden optimizar la gestión de inventario al proporcionar datos precisos sobre los niveles de stock de los productos y la ubicación, reduciendo el riesgo de desabastecimiento o exceso de inventario y así lograr tener una buena gestión y manejo de recursos.

El conocimiento y uso del IoT aún son limitados en el sector. Las empresas que utilizan dispositivos IoT, como sensores de monitoreo de vehículos y plataformas de gestión de rutas, reportan mejoras moderadas en la eficiencia y la optimización de costos. La sostenibilidad de los costos operativos, después de la implementación del IoT, sigue siendo intermedia para la mayoría. Algunos reportan avances mínimos notables. El IoT tiene un impacto positivo en la eficiencia de los costos operativos, impulsado por su efectividad en la reducción de costos laborales, la sostenibilidad operativa, la automatización logística y la mejora de la seguridad de la infraestructura tecnológica (Nivicela y Andrade, 2025).

Identificación de Ineficiencias e Implementación de Oportunidades de Mejora Continua

Eliminación de Mermas y Control de Flujo de Valor Mediante Lean Manufacturing.

En el ámbito de la gestión logística de la cadena de suministro se evidencian ineficiencias constantes en los procesos de eliminación de mermas y en el flujo de valor, lo cual representa un desafío en el proceso de optimización de los procesos en la industria. En primer lugar, se encuentran las mermas realizadas durante los movimientos innecesarios y erróneos del inventario dentro de las instalaciones, lo cual genera reducción en la eficiencia operacional y por ende desencadena una serie de dificultades que paran el correcto flujo del proceso logístico estipulado. Estas ineficiencias corresponden a varios factores tales como los desperdicios de tiempo generados, los cuales corresponden a los tiempos muertos entre las actividades de producción, distribución y transporte, creando cuellos de botella en el flujo de valor, dando paso a la retención del inventario, afectando el proceso productivo, de la misma manera los retrasos e incompatibilidades en la sincronización en la producción y planificación de la cadena de suministro. Entre otras causales de las ineficiencias se encuentra el diseño y distribución ineficaz de las instalaciones, con problemas de la ergonomía en las áreas de trabajo lo que conlleva a presentar inconsistencias en las actividades diarias del operario, afectando los indicadores de merma y el correcto flujo de valor logístico.

En los procesos productivos se presentan dificultades en cuanto a la sobreproducción, creando una acumulación de productos en el proceso, lo que resulta ser una planificación y gestión ineficiente sin tener en cuenta la demanda y dando una subestimación al pronóstico afectando directamente la parte económica de la empresa creando un mayor riesgo de caer en la obsolescencia operativa. En otro aspecto y no menos importante se presenta en los errores significativos en cuanto a la calidad de los productos, por la falta de control adecuado en las

diferentes etapas del proceso lo que resulta en que los productos puedan presentar defectos y por tal razón las devoluciones, reprocesos y mermas en el recurso, estas fallas se dan a partir del mal manejo de los estándares de calidad y los procesos de auditoría, de inspección y la capacitación adecuada al personal operativo. En otros ámbitos de la cadena de suministro también se encuentran ineficiencias como la falta de comunicación asertiva la cual es fundamental entre los actores logísticos para generar un buen flujo del inventario y cumplir con los objetivos planteados, así como al hacer uso de herramientas tecnológicas desactualizadas también se corre el riesgo de integrar prácticas ineficientes y procesos mal definidos.

A lo largo del desarrollo y la gestión logística de los procesos se van encontrando ineficiencias en cuanto a la generación de mermas y el flujo de valor en cada área que constituye la cadena de suministro afectando de forma directa a la eficiencia operativa, niveles de calidad y confiabilidad de la industria, siendo puntos clave para el éxito. Por tal razón, mediante este estudio se abordará la implementación del sistema Lean Manufacturing con aportaciones de la inteligencia artificial para la eliminación de mermas y mejoramiento de la cadena de valor.

Mediante la implementación del enfoque Lean manufacturing y la inteligencia artificial en la cadena de suministro industrial busca que en la ejecución de los procesos de los sistemas productivos y de distribución se realicen de manera más eficiente posible, lo cual resulta con el objetivo de la eliminación de todo aquello que no le aporta valor a la operación, buscando el mejoramiento continuo del flujo de valor. Como se observa en la Figura 6 se identifican los factores de beneficios que se tienen cuando se realiza la aplicación del sistema Lean manufacturing en la cadena de suministro.

Figura 6

Beneficios de la Metodología Lean Manufacturing en la Cadena de Suministro



Fuente. Sobrino, C (s.f.)

Continuando con el estudio realizado en la sección del marco teórico de esta investigación se enfatiza en cómo trabaja el lean manufacturing para otorgar a los procesos mayor eficiencia y efectividad y al mismo tiempo ir eliminando mermas que afecten el flujo continuo de la cadena de suministro. Abordando principalmente la eliminación de mermas mediante lean manufacturing y según lo estudiado como lo es la implementación de oportunidades para los procesos se identificó lo siguiente, lo cual es pieza clave para desarrollar el lean manufacturing en los procesos:

Los movimientos innecesarios: el inventario siempre se mueve de un lugar a otro, lo cual implica tiempo y energía, por lo tanto, al implementar una buena planificación de rutas y de optimización de espacio se pueden reducir los movimientos innecesarios lo cual afecta indicadores dentro de la industria como lo es la productividad e índices de merma podrían aumentar si no se tiene control adecuado del inventario que rota a través del flujo logístico.

Los tiempos muertos y paradas sin planificar: todo lo que implica tener que hacer pausas de tiempo en el flujo logístico en la cadena de suministro afecta la eficiencia del proceso de lo cual se implementa métodos como el Just in time, el cual busca que los productos lleguen justo a tiempo al cliente final, por medio de la metodología Kaizen que va de la mano con Lean manufacturing se enfocan en dar mejoras continuas a estos procesos en la cadena de suministro industrial.

Teniendo en cuenta estos ítems importantes como identificación de mejoras en los procesos logísticos, de igual manera se identifica las oportunidades de mejora por medio de la inteligencia artificial junto con el enfoque lean manufacturing al flujo de valor. La inteligencia artificial hoy día se ha convertido en un gran aliado de los procesos logísticos en la industria, por tanto, se relacionan las posibilidades y en qué áreas se dan las mejoras continuas mediante estas metodologías:

Predicción de la demanda: por medio de los algoritmos que ofrece la inteligencia artificial de aprendizaje automático, se prevé la demanda de manera más activa, lo cual ayuda considerablemente en la sobreproducción y la falta de productos, haciendo uso eficiente de los recursos.

Organización de rutas logísticas acordes a la operación: con la ayuda de la inteligencia artificial se pueden analizar y registrar los tiempos de espera innecesarios y la mejora de la eficiencia y costos, abordando de manera específica el control de las rutas para otorgar entregas acordes y en el tiempo estipulado, cumpliendo con los factores de entregar por parte del centro logístico, para asegurar el proceso y evitar reclamaciones del cliente, aumento de PQRS y retraso significativo en la operación logística.

Mantenimiento preventivo: los algoritmos y el enfoque lean manufacturing complementan los mantenimientos preventivos correctivos a la maquinaria, además los prevé antes de que ocurran problemas, lo cual reduce el tiempo de actividad y mejora la eficiencia general del proceso.

Como lo afirma, Muñoz (2022), “la variable más importante para determinar un sistema de gestión del flujo productivo evidentemente es el tiempo” (Pág.137). Es importante tener en cuenta que la variable del tiempo es fundamental ya que si se analiza se determina que mediante este se miden varios de los factores fundamentales para el flujo correcto de la cadena de suministro industrial.

Abordando la implementación de oportunidades antes mencionadas mediante el lean manufacturing y la inteligencia artificial, se determina que, al combinarlas las empresas mejoran su capacidad de hacer cambios significativos y adaptativos a los nuevos cambios del mercado, permitiendo identificar patrones de ineficiencias en los procesos tradicionales para aportar nuevos procesos con avances tecnológicos que ofrezcan soluciones oportunas, eliminen errores y den mayor flexibilidad a la cadena de suministro industrial.

Mejora de los Procesos Logísticos y Reducción de Variabilidad por Medio de Six Sigma

Para comprender el factor importante que cumple la metodología six sigma en los procesos logísticos se abarca desde la identificación de las ineficiencias en los procesos, en problemáticas como, la escasez y el exceso del inventario debido a estimaciones de demanda inexactas, los altos costos de almacenamiento e ineficiencias en el control del stock, tales como pérdidas (mermas), errores de conteos, digitación, entre otros. Por otra parte, se presentan errores en el procesamiento de pedidos generando retrasos, discrepancias en la facturación y en el

picking de los productos, lo cual genera mal cumplimiento en las entregas y afectando por ende el OTIF de las empresas, dichas problemáticas que abarca el sistema logístico de la cadena de suministro industrial en las empresas de producción y distribución, abre paso a la implementación continua de la metodología six sigma, siendo un enfoque importante en la mejora de los procesos logísticos, la cual entrega soluciones acordes a las necesidades en áreas y actividades específicas para que las empresas lleguen a su excelencia operacional. Por medio de six sigma junto con tecnologías emergentes como las antes mencionadas en esta investigación (blockchain, machine learning, internet de las cosas IoT) y la inteligencia artificial se logran avances de innovación significativos que aportan a la industria.

Reducción de la Variabilidad en los Procesos Aplicando Six Sigma, Tecnologías Emergentes e Inteligencia Artificial a la Cadena de Suministro. “La metodología Lean Six Sigma posibilita la mejora continua de los procesos, para aumentar el rendimiento, la productividad y la rentabilidad empresarial” (Pérez et al., 2021, pág. 165). La implementación de la metodología Lean Six Sigma, mediante la conjugación con lean manufacturing ambos métodos le han proporcionado a la cadena de suministro la disminución de la variabilidad en las áreas de trabajo en las actividades y de igual manera aporta a la eliminación de mermas significativas para las compañías.

La metodología six sigma combinada con tecnologías emergentes e inteligencia artificial, aporta de manera significativa y productiva a procesos específicos de la cadena de suministro para reducir la variabilidad en el flujo del inventario y mejorar la calidad de los procesos. Es importante mencionar que la metodología six sigma trabaja para identificar la raíz de la problemática para eliminar las causas de la variabilidad y aportar para que el proceso sea más

eficiente, predecible y estable, por tal razón mediante el Ciclo DMAIC, antes mencionado en la investigación, es fundamental para encontrar la causal de las inconsistencias en los procesos, ya que mediante la definición clara de los objetivos del proyecto también se plantea un enfoque claro de lo que se busca realizar en los procesos, luego, en la medición se analizan los datos para comprender la variabilidad y por ende mejorar mediante las estrategias óptimas el proceso para finalmente mantener el control adecuado de las actividades, este control se realiza con ayuda de tecnologías como IoT e inteligencia artificial mediante las herramientas automatizadas para lograr un control más definido y correcto.

Six sigma es apoyada por blockchain para tener la transparencia y visibilidad completa de los procesos de la cadena de suministro con el fin de evitar riesgos y errores en las manipulaciones de los datos y maquinaria, y dar soluciones a tiempo para conservar el flujo correcto del inventario durante el proceso logístico, por medio del rastreo de los productos y recursos se mejora la trazabilidad y aumenta la productividad, indicador clave para el éxito de las compañías. De la misma manera con la rama de la inteligencia artificial el machine learning se une al six sigma para complementar la optimización predictiva y la reducción de cierta manera de la variabilidad, proporcionando un marco de trabajo arduo en el establecimiento de objetivos claros por medio de análisis de datos que permiten ajustar los procesos de forma proactiva reduciendo considerablemente la variabilidad de forma más precisa en las actividades logísticas, aportando a un punto importante como lo es la sostenibilidad en la cadena de suministro

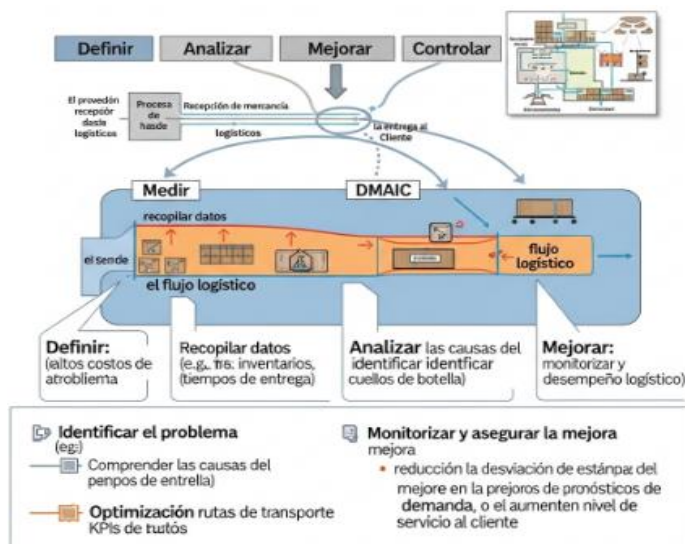
La metodología six sigma además de disminuir la variabilidad, también otorga a los procesos un monitoreo real de los procesos. En la fase de medición del six sigma los sensores IoT pueden realizar lineamientos predictivos de los sistemas machine learning para la detección de los fallos en la maquinaria y los posibles desvíos en los procesos para dar mayor

automatización y control y mantener la estabilidad el flujo logístico a largo plazo y reducir por ende la variabilidad. Otra de las implementaciones de oportunidades para la cadena de suministro es el trabajo desarrollado a través de la metodología six sigma y la inteligencia artificial para el mejoramiento en la optimización autónoma y la toma de decisiones estratégicas. Como se ha mencionado la inteligencia artificial ofrece potentes capacidades para transformar, procesar y analizar de forma masiva grandes volúmenes de datos lo cual se complementa muy bien el enfoque de six sigma, especialmente en las fases de medición, análisis y el mejoramiento de los procesos, el ajuste de las operaciones de manera automática, la optimización de los procesos en tiempo real, fortaleciendo la mejora continua del six sigma y los demás enfoques.

La integración de esta metodología six sigma con tecnologías emergentes e inteligencia artificial no solo optimiza los procesos logísticos sino que también ayuda a la adaptabilidad de las empresas de una manera más rápida y eficiente en los cambios recurrentes del mercado, mejorando la calidad y la toma de decisiones de forma correcta ya acorde a las necesidades de la cadena de suministro La identificación de ineficiencias en los procesos y la exposición de oportunidades de mejora se plantean con el fin de dar a conocer mejor el enfoque que tiene la metodología six sigma en la logística industrial. A continuación, se evidencia en la Figura 7 como la metodología del six sigma trabaja en los procesos para mejorar el sistema operativo y disminuir la variabilidad en los procesos logísticos mediante Ciclo DMAIC.

Figura 7

Metodología Six Sigma en la optimización de Procesos y Reducción de la Variabilidad



Fuente. Gemini IA. (2025).

Mejora Continua Desarrollada en la Cadena de Suministro a través de Kaizen

Esta tiene como objetivo lograr una verdadera mejora continua en una cadena de suministro usando Kaizen, no es sólo aplicar un conjunto de herramientas o métodos esto también depende de fomentar una cultura laboral de apoyo y compromiso en toda la organización que tenga que ver con los procesos internos como externos. Kaizen como el motor de mejora: Kaizen, que significa "mejora", es una filosofía que busca eliminar las mermas y optimizar los procesos. Involucrando a todos en la organización, desde los gerentes hasta los trabajadores de primera línea, mejorando progresivamente cada paso, desde la adquisición de materiales y la producción hasta la logística y la entrega final del producto. Participación y Colaboración: Kaizen prospera cuando todos los miembros de la organización participan activamente en las mejoras.

Cuando la filosofía Kaizen está profundamente arraigada en la cultura laboral de una cadena de suministro, se obtienen los siguientes resultados:

Mayor Productividad: Tanto Kaizen como una cultura laboral de apoyo tienen como objetivo fundamental mejorar la relación entre la producción obtenida por un sistema y los recursos utilizados para conseguirla. La participación de los empleados incide directamente en los resultados de la organización y en indicadores sociales como el clima laboral y la satisfacción del personal.

Mayor Competitividad: Al mejorar continuamente los procesos y fomentar una fuerza laboral receptiva, la cadena de suministro se vuelve más ágil, eficiente y mejor preparada para competir en mercados definidos y mantenerse a lo largo del tiempo.

Mayor Calidad y Responsabilidad: Kaizen contribuye a una mayor calidad y productividad, además de generar resultados visibles en la mejora de la responsabilidad y el compromiso por parte de los empleados.

Kaizen proporciona el marco y las herramientas para la mejora continua, la cultura subyacente de compromiso y colaboración con la mejora constante por parte de los empleados permitiendo que la cadena de suministro sea más eficiente, productiva y competitiva. Sin esta cultura laboral de apoyo, los beneficios de las iniciativas Kaizen pasar a ser un sistema complejo como una cadena de suministro limitada e insostenible (COGOLLO et al., 2018).

Como se determina en la Figura 8, el ciclo de Kaizen se centra en la adaptación, con el fin de cumplir metas, generar hábitos y conciencia en los procesos a desarrollar en la cadena de suministro.

Figura 8

Ciclo de la Metodología Kaizen



Fuente. Villasmil, M. (2023).

Relación entre Lean, Six sigma y Kaizen con Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes dentro de la Cadena de Suministro

Como se ha mencionado en el análisis realizado a cada una de las metodologías estudiadas, tanto como a los enfoques de Lean, Six sigma y Kaizen, como las tecnologías emergentes más relevantes (blockchain, machine learning, IoT) y la inteligencia artificial, todo enfocado a la determinación de generar un modelo de investigación que describa las mejoras y otorgue información de valor en el ámbito industrial, por tal motivo es importante mencionar que la relación que existe entre los enfoques estudiados trae consigo beneficios relevantes a la cadena de suministro industrial. El propósito de la relación e interacción entre Lean, Six sigma y Kaizen con inteligencia artificial y tecnologías emergentes dentro de la cadena de suministro es generar un modelo que integre la optimización en los procesos, la reducción de las mermas, mejorar la toma de decisiones, crear procesos y tareas más sostenibles además de generar mayor seguridad

en la trazabilidad de los datos, aumentando la confiabilidad del cliente y por ende la productividad y la competitividad de las empresas en el mercado.

La relación existente entre estas metodologías, enfoques y herramientas es brindada que, con el cambio repentino del mercado, la cadena de suministro tenga como sustentar y evolucionar conforme al avance tecnológico que ofrece el entorno hoy día, de esta manera estas herramientas en conjunto trabajan para generar una serie de avances y beneficios que conforme al pasar el tiempo se ven reflejadas en el buen manejo y gestión de la cadena de suministro industrial. La inteligencia artificial ha generado una revolución para muchos campos en la economía mundial, es un punto importante del cual se debe estudiar para sacar el mejor provecho y por ende la industria no queda atrás en estos avances tecnológicos. La inteligencia artificial ofrece bastantes herramientas que conjugadas con metodologías ya planteadas a los procesos genera una evolución y otorga mayor eficiencia en la industria.

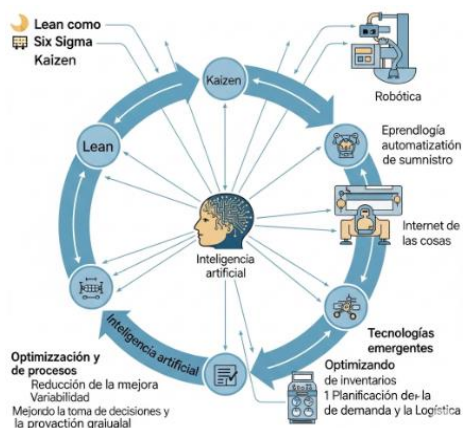
Mediante el estudio de estas metodologías se analiza el sector de la industria presentando casos de estudio que van representados de forma clara a la investigación dando una visión más clara de las oportunidades de mejora con implementaciones viables en la cadena de suministro industrial, dando a entender cómo funciona la inteligencia artificial articulada con las tecnologías emergentes y los enfoques de Lean Six sigma y Kaizen en los procesos más representativos en la industria como lo son el mejoramiento en la toma de decisiones en tiempo real de forma más eficiente, la planificación de la demanda y gestión del inventario y el transporte, mediante los algoritmos, para predecir el comportamiento del mercado y encontrar soluciones más rápidas y precisas que con los métodos tradicionales de ejecución. Al enfocar la inteligencia artificial con tecnologías emergentes y Lean Six sigma y Kaizen desde la obtención de la materia prima, la comunicación con proveedores y hasta el consumidor final se logra la optimización de las rutas

logísticas, la sincronización efectiva de la producción y distribución con base a la demanda dinámica apoyada con estas herramientas, además de la reducción de mermas y el desarrollo de los procesos de manera inteligente y automatizada, creando sostenibilidad en la cadena de suministro.

La inteligencia artificial puede identificar de forma eficiente los desperdicios invisibles que se encuentran dentro de los procesos en la cadena de suministro tales como el consumo de energía, los movimientos innecesarios y los reprocesos, de tal manera mediante su visión artificial y sensores IoT, genera reportes automáticos que se alinean a los procesos circulares y sostenibles de la industria. Como se evidencia a continuación en la Figura 9, la interacción que existe entre la IA, las tecnologías emergentes y los enfoques (Lean, six sigma y Kaizen) conlleva a un trabajo en conjunto para lograr la optimización y automatización en los procesos para que la gestión de la cadena de suministro se de manera más eficiente, proactiva y dinámica.

Figura 9

Interacción de Lean Manufacturing, Six Sigma y Kaizen con Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes en la Cadena de Suministro



Fuente. Gemini IA. (2025).

De esta manera desde la perspectiva profesional en la ingeniería industrial, esta integración de Lean, Six Sigma, Kaizen e Inteligencia Artificial se convierte en una necesidad cada día más competitiva en la era donde la industria 5.0 toma relevancia e importancia en los procesos y desarrollo en la cadena de suministro, por lo tanto, las empresas que adopten estos sistemas sistemáticos de automatización inteligente y cultura de mejora continua estarán mejor preparadas para gestionar entornos cambiantes, complejos y altamente personalizados, los beneficios más contundentes que se hacen evidentes con esta implementación en la cadena de suministro son la reducción de costos, mejoramiento en la agilidad de los procesos, mayor calidad y sostenibilidad en la ejecución de las actividades. La ejecución de centros de control en la cadena de suministro basados en inteligencia artificial integrando los enfoques y el control estadístico en tiempo real con sistemas de alerta en eventos críticos de procesos se convierte en una oportunidad destacada para el ámbito industrial.

Ejemplos Puntuales de cómo Interactúan estas Técnicas en la Cadena de Suministro Industrial

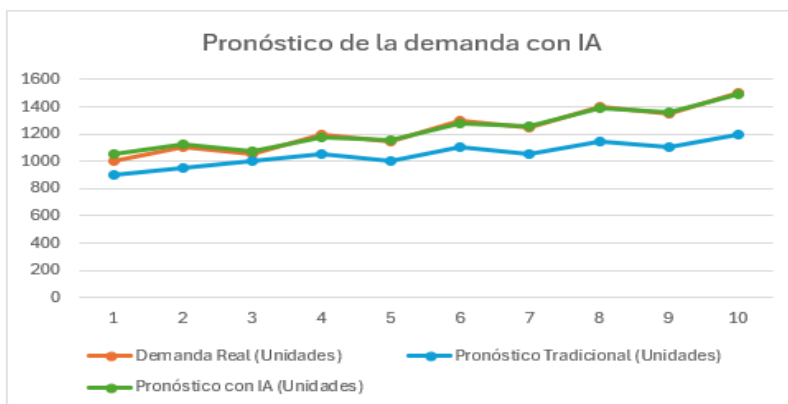
Suponer que la cadena de suministro industrial solo reacciona a los problemas derivados de las operaciones se crea un estándar erróneo de la aplicación de nuevas tecnologías a esta, ya que con integración de Lean, Six Sigma, y Kaizen con la Inteligencia Artificial (IA) y tecnologías emergentes como IoT, Machine Learning y Blockchain, se permite anticipar dichos problemas y los previene, además de ir más allá que lograr la eficiencia le apunta a temas puntuales como la optimización inteligente, sostenible y adaptable. A continuación, se exponen ejemplos claves y claros para comprender mejor cómo interactúan las técnicas estudiadas en la cadena de suministro:

Ejemplo 1: En una empresa de ropa se usa la inteligencia artificial para predecir la demanda de las prendas y opta por lo determinar las ventas del año anterior sino que con el uso de IA se realiza el pronóstico del clima, las tendencias actuales, los datos claves de eventos importantes, lo cual permite a la empresa prever el aumento de la demanda de sus prendas, ajustando automáticamente los planes de producción y los despidos, evitando que se generen errores como el exceso de stock o la falta de producto. De esta manera mediante los algoritmos de machine learning como las redes neuronales se obtienen bastantes datos relevantes tales como las ventas históricas, los eventos importantes, datos relevantes en redes sociales, tendencias del mercado actual, para mejorar la producción de la empresa, lo cual transforma la producción de la empresa.

Como se puede evidenciar en la Figura 10, se demuestra como el pronóstico de la demanda en 10 semanas donde la implementación de IA es más acorde y cumple con los datos de la demanda real del mercado lo que indica que la empresa por medio de estas herramientas tendrá un mejoramiento significativo y medible en su producción.

Figura 10

Comportamiento de la Demanda Con Algoritmos de Inteligencia Artificial.



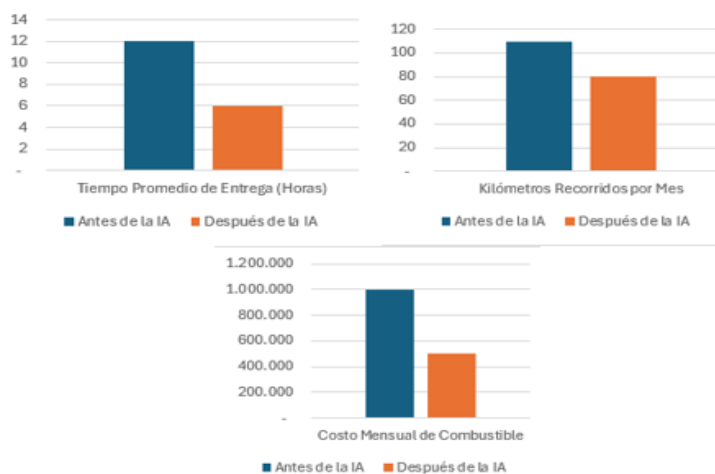
Nota. Comparación del pronóstico de demanda mediante la implementación de la Inteligencia Artificial, con la demanda real y el pronóstico tradicional. *Fuente.* Elaboración propia.

Ejemplo 2: una empresa que maneja distribución de alimentos perecederos busca optimizar sus rutas, por lo tanto, hace la implementación de sistemas y algoritmos de inteligencia artificial con el fin de encontrar las rutas más cortas y eficientes con monitoreo en tiempo real, considerando el tráfico actual, la capacidad de vehículos y las entregas que estén pendientes. La inteligencia artificial actúa cuando se presentan cuellos de Botella inesperados y determina rutas alternativas notificando al conductor y al cliente final, de igual manera por medio de los sensores IoT se realiza el monitoreo de la temperatura de dichos productos creando alertas automáticas si se presentan anomalías para asegurar la Calidad y reducir el desperdicio, creando una trazabilidad Segura en cada paso del producto. Como se puede determinar en la Figura 11, después de haber implementado las herramientas de IA el sistema de transporte y optimización de rutas logísticas da resultados significativos y de grandes impactos en la reducción de costos y tiempo, ya que se estudian datos como el kilometraje, el costo mensual en combustible y tiempos promedio de entregas.

Figura 11

Comportamiento de Antes y Después de la Implementación de IA en el Transporte de Alimentos Perecederos

Comparación de desempeño de antes y después de la implementación de IA en la optimización de rutas Logísticas



Nota. Comparación en factores como el costo de combustible, kilómetros recorridos y tiempos de entrega. *Fuente.* Elaboración propia.

Sostenibilidad Mediante Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro

Gestión Eficiente de los Recursos a través de la Inteligencia Artificial y Análisis de Datos

La finalidad de proponer un modelo de investigación de implementación de mejora continua en los procesos de la cadena de suministro industrial también va estrechamente relacionada con la gestión eficiente de los recursos mediante la inteligencia artificial y el análisis de datos, teniendo en cuenta las metodologías de Lean, Six Sigma y Kaizen al igual que las tecnologías emergentes. En el sector industrial de manufactura, de manera particular en empresas del sector de alimentos procesados mediante procesos de producción en serie y la distribución de productos a nivel nacional creando una cadena de suministro centralizada, se tienen en cuenta factores como su alta dependencia de recursos físicos, humanos y tecnológicos, la existencia de procesos de operación con complejidad y su potencial de mejora de eficiencia mediante la inteligencia artificial y la automatización. Dicha empresa presenta errores en sus procesos y retos

comunes en el desperdicio de las materias primas e ineficiencias en la gestión del inventario y su logística con falta de integración en el sistema de información operacional.

Para efectuar la gestión de recursos en la cadena de suministro se realiza en primera instancia la recopilación de los datos sean cualitativos o cuantitativos, como lo son los datos históricos de producción y distribución de los últimos 12 meses, recopilar datos de registros de órdenes de compra y consumo de materiales, desperdicios y eficiencias en la línea de producción, teniendo claros los ciclos y los tiempos, de la misma manera los indicadores de la gestión operativa, niveles de servicio, OTIF, tasa de defectos, entre otros. Datos de sensores IoT como la temperatura, la humedad, las condiciones de la operación son cruciales para el análisis y sustento de los procesos en la cadena de suministro.

Como lo menciona Calle et al. (2024), “la gestión efectiva de la cadena de suministro en el entorno empresarial es un desafío constante que requiere adaptabilidad, precisión y eficiencia para mantener la competitividad y satisfacer las demandas del mercado” (pág.268). Es importante interactuar y aportar mediante tecnologías de innovación como la inteligencia artificial para cumplir con las expectativas y gestionar de manera adecuada los recursos pertenecientes a la cadena de suministro industrial, por lo tanto, se exponen casos de estudio de empresas como Procter & Gamble que implementan dentro de sus operaciones algoritmos de innovación como el machine learning para la planificación y gestión eficiente de los recursos

Es importante mencionar que mediante algoritmos como machine learning ya estudiado en esta investigación se es claro que, por medio de las redes neuronales, los árboles de decisión y la regresión, mediante los datos históricos de ventas, promociones y comportamientos de compra de los clientes se pueden definir la demanda y reducir el sobre stock y el desabastecimiento,

creando un proceso optimizado de inventarios, compras y recursos de producción. La planificación automatizada en la producción y distribución es punto clave para la gestión eficiente de los recursos por lo que, mediante los algoritmos de optimización como los genéticos y la programación lineal, se calcula de forma más proactiva las materias primas y la gestión de la capacidad laboral, maximizando los recursos disponibles como los son la maquinaria, personal operativo, materiales, evitando los reprocesos y los tiempos muertos.

La gestión eficiente del inventario, la optimización de la logística y el transporte, el mantenimiento predictivo y los activos productivos y de distribución, la reducción de los desperdicios, la automatización en la toma de decisiones, todo abordado a la mejora continua es crucial para actuar frente a la volatilidad del mercado y las exigencias de los consumidores, lo cual requiere de acciones y ediciones rápidas y acordes basadas en datos reales y en tiempo real, de tal manera la inteligencia artificial junto con el análisis de los datos permite que la gestión de la cadena de suministro sea más proactiva y dinámica planteando dentro del proceso mayor competitividad, sostenibilidad y rentabilidad para las empresas industriales y empresariales

En definitiva, el planteamiento de un modelo de mejora continua en la cadena de suministro industrial, centrado mediante la inteligencia artificial, el análisis de los datos junto a las tecnologías emergentes y los enfoques de Lean, Six Sigma y Kaizen, dan respuesta a las necesidades presentadas en el entorno empresarial e industrial actual, con una visión clara de la innovación al futuro y la gestión operativa organizacional con la posibilidad de transformar los datos de manera inteligente en decisiones automatizadas en un campo lleno de oportunidades de mejora como lo es la cadena de suministro industrial en la manufactura y los centros de distribución. Este avances no se debe ver ni relaciona como un enfoque aislado de la realizada sino como una oportunidad continua de mejora y avances tecnológico con exigencias amplias

que representa éxito en los procesos para las empresas, este es un punto de partida para seguir avanzando y estudiando sobre los casos prácticos donde se da a entender cómo funciona la inteligencia artificial, sus algoritmos y tecnologías emergentes en el desarrollo de las actividades de la industria para obtener mayor eficiencias y hacer de la cadena de suministro un proceso mucho más moderno, evolutivo y dinámico.

Proyecciones Futuras en la Cadena de Suministro

La Industria 5.0 en la Gestión Logística de la Cadena de Suministro Industrial

La industria 5.0 se ha convertido en una promesa para la industria, ya que representa un nuevo modelo industrial que se orienta principalmente a la cooperación entre el hombre y la máquina. Dentro de la cadena de suministro industrial es importante implementar e integrar a la inteligencia artificial, así como se ha venido estudiando y analizando en los apartados anteriores, más aún cuando la analítica avanzada, tecnologías como el internet de las cosas IoT, la robótica y el análisis tienen mayor potencial al tener en cuenta el factor humano pero que mediante las máquinas se pueden desarrollar procesos más resilientes, personalizados eficientes y sostenibles para los procesos en la cadena de suministro. Como lo expresa De Val Pardo (2021), “Los avances tecnológicos han perseguido máquinas complementarias al hombre en las que delegar capacidades humanas como la memorización, la interpretación de mapas, la orientación o la toma de decisiones” (Pág.2). De esta manera esta industria se cataloga como un proceso abierto a la posibilidad de replicar dicho funcionamiento del cerebro humano en las máquinas mediante la ingeniería inversa, el objetivo es de cumplir y comprender los mecanismos de almacenamiento de la información y estudiar los comportamientos humanos para garantizar el buen análisis de grandes volúmenes de datos con los algoritmos avanzados como el machine learning, blockchain y el IoT, interconectando múltiples sistemas y dispositivos digitales modernos e inteligentes.

Entre los componentes clave de la industria 5.0 existe la personalización de manera inteligente de los procesos logísticos, por medio de la inteligencia artificial y el machine learning, la robótica y automatización colaborativa en la aplicación de robot que realizan apoyo a los almacenes en el proceso de picking, almacenamiento, empaquetamiento y la clasificación disminuyendo por ende el margen de error en los procesos, la sostenibilidad que otorga la industria 5.0 a la cadena de suministro repercute en el impacto social, ya que se realizan prácticas de eficiencia energética y la trazabilidad amigable con el medio ambiente.

Básicamente dentro de las tecnologías emergentes aplicadas en la industria 5.0 se encuentra en primera instancia la inteligencia artificial, la cual proporciona gran aporte mediante algoritmos de automatización a la cadena de suministro, otra de las tecnologías más eficientes que se aplican a los procesos es el big data el cual es capaz de analizar gran cantidad de volúmenes de datos en menor tiempo y datos de clientes, proveedores y operaciones internas al detalle, el IoT más conocido como el internet de las cosas que por medio de sensores para el monitoreo en tiempo real ofrece la localización real además de una trazabilidad correcta del inventario, por otra parte y no menos importante se encuentra el blockchain ya que siendo una de las tecnologías más usadas para los sistemas de seguridad en las empresas, también ofrece transparencia en los procesos de la cadena de suministro, determinando de forma correcta y segura la trazabilidad de los productos protegiendo la información. El uso de estas tecnologías innovadoras hacen que la industria tome un rumbo más versátil y moderno y que además de esto tenga mayor sostenibilidad y credibilidad en los procesos logísticos centrados en las diferentes industrias y los centros de distribución, por tal motivo es importante aclarar que hoy día se hace inmersión el sistema de uso de robot industriales los cuales se han venido incrementando mediante el avance que hace tenido la tecnología, estos robots convencionales han

incrementado su autonomía de manera ágil por medio de la incorporación de software basados en la inteligencia artificial especialmente por parte de las técnicas de aprendizaje autónomo (machine learning), lo cual le ha permitido a las empresas ejecutar tareas en menor tiempo posible y como se mencionaba anteriormente con el mínimo margen de error lo que promete una adaptación más correcta y segura en el mercado. Este es un proceso que va en constante cambio ya que como todo proceso se han encontrado inconsistencias como su alcance limitado a la inteligencia general comparable con la del ser humano lo que implica múltiples habilidades cognitivas y la resolución inmediata de problemas e ineficiencias, pero que en cuestiones de productividad, seguridad, planificación, gestión de inventarios, reducción de mermas, apoyo en la toma de decisiones y análisis de datos este sistema si logra satisfacer a la fecha las necesidades de la industria.

Resultados

Descripción del Contexto en Estudios de Caso Relevantes Aplicados en la Cadena de Suministro.

Caso 1, Interacción entre Metodologías Lean manufacturing y Kaizen en la Sostenibilidad de Procter & Gamble (P&G)

Es una de las mayores empresas fabricantes de productos de consumo masivo como champús, detergentes, cosméticos y cuidado personal, una de las preocupaciones de la compañía es su aporte a la sostenibilidad en cuanto al impacto al medio ambiente y la logística que tiene el diseño de sus envases, esta preocupación plantea un desafío amplio para la empresa, la cual desea equilibrar la eficiencia operativa con el cumplimiento de las normas ambientales. Por esta razón se analiza que la implementación del sistema de lean manufacturing y Kaizen aportan al mejoramiento de esta problemática, ya que mediante Lean manufacturing se identifican los procesos innecesarios tales como el uso de materiales que no son reciclables y el análisis del impacto al medio ambiente, también por medio de la metodología Kaizen se desempeña la mejora continua de la eficiencia operativa mientras se ejecutan acciones acordes al impacto ambiental para lograr la sostenibilidad del y otorgar calidad en los procesos de fabricación y cumplir de igual manera con las necesidades de los consumidores.

Datos recopilados: cantidad de materiales utilizados que no se catalogan como reciclables, identificación de la huella de carbono significativa generada por medio del transporte y el almacenamiento de los productos, la generación de los residuos plásticos.

Planificación práctica del proceso: se realiza la estandarización de los procedimientos, la reorganización del área de herramientas y distintos análisis de los movimientos para empezar a

dar la optimización al diseño de los envases para cumplir con las normativas sostenibles al medio ambiente.

Inteligencia artificial en el proceso: por medio del uso de sensores IoT se puede realizar el monitoreo en tiempo real de la operación, realizando un análisis para la identificación de los movimientos ineficientes e identificación de usos de materiales que no cumplen con el propósito de dar sostenibilidad al proceso y actuar sobre los errores, lo que beneficia el proceso de alcance del rediseño de los envases para aportar significativamente al impacto ambiental.

Teniendo en cuenta el análisis del caso, se destaca lo que afirma Paredes et al. (2025),” La innovación en el diseño de envases ha generado soluciones prácticas que mejoran la logística y promueven la sostenibilidad” (Pág.47). También es importante mencionar que cada vez se evidencia que las normativas ambientales se vuelven más estrictas y exigentes los consumidores prefieren productos más responsables que aporte al medio ambiente, por esta razón el ecodiseño será cada vez más crucial para la competitividad en el mercado. A continuación, se evidencia en la Tabla 2 la mejora que otorga las implementaciones de buenas herramientas como lo son lean manufacturing, Kaizen y la inteligencia artificial al proceso de fabricación.

Tabla 2

Aspectos evaluados de la implementación de Lean, Kaizen y la IA en la sostenibilidad de procter & Gamble

Aspectos evaluados	Estado inicial de la implementación	Estado final de la implementación (Lean, Kaizen, IA)
---------------------------	--	---

Tipo de material en los envases	Plásticos reciclables, derivados del petróleo	0%	Identificación y sugerencias conforme a las necesidades con materiales reciclables, biodegradables, madera laminada, papel reciclado
Identificación de los residuos plásticos y huella de carbono	Elevada por los envases que permiten un solo uso, son pesados y no son compostables		Disminución de estos factores por medio de envases compostables e identificación del 40% en envases más ligeros
Modelo de economía circular	No se implementa este modelo simplemente produce, usa y desecha.	lineal, se usa y	Se implementa el diseño de reciclaje y reutilización de los envases generando una integración en economía circular.

Fuente. Elaboración propia

Caso 2, Interacción de IA con Machine Learning en la Gestión del Inventario y Demanda en Zara.

Teniendo en cuenta la aplicación de machine learning a los procesos dentro de la cadena de suministro, se considera como caso de estudio la empresa Zara, una de las empresas pioneras en moda, la cual ha integrado dentro de sus operaciones el uso de IA y por ende la utilización de Machine learning para la predicción de la demanda y la gestión del inventario, Zara analiza el comportamiento de sus consumidores y también extiende su sistema de cadena de suministro y su sistema de gestión, abarcando un aprendizaje de los procesos de forma automatizada, buscando la interacción directa con los clientes, permitiendo el análisis concreto de tendencias de moda en tiempo real, al igual que la interacción con el cliente en línea y permitiéndole responder de forma rápida las peticiones y necesidades de los consumidores, así mismo adaptarse

fácilmente a los cambios de demanda en el mercado y proporcionar eficiencia, automatización y optimización a sus procesos.

Zara ha colaborado con varios socios tecnológicos para implementar la IA en sus operaciones. Por ejemplo, se asoció con Tyco para integrar microchips en las etiquetas de seguridad de su ropa, mejorando así la visibilidad del inventario. La empresa también colabora con Jetlore para predecir el comportamiento del cliente basándose en atributos predictivos estructurados como la talla, el color, el ajuste y el estilo. Las etiquetas RFID y los sofisticados sistemas logísticos permiten a Zara optimizar aún más el transporte y el inventario, reduciendo el desperdicio y garantizando la disponibilidad constante de los artículos más populares (Zaytsev,2023).

La aplicación de los modelos de inteligencia artificial (machine learning) en las operaciones de zara aporta significativamente en la optimización de su cadena de suministro y la experiencia significativa con los clientes, creando una estrategia mediante la IA, la cual le ha generado beneficios en cuanto a la reducción de costos, la eficiencia y posicionándose como una de las empresas más exitosas en moda a nivel internacional.

Datos recopilados: el comportamiento de los consumidores, la rotación del inventario, comportamiento de la demanda y las tendencias de moda actual, mediante la machine learning se realizan los modelos predictivos basados en los datos históricos en actuales de la marca, generando trazabilidad y disponibilidad correcta del inventario.

Planificación práctica del proceso: se realiza la predicción de las tendencias en tiempo real, optimizando el stock en el transporte y la producción, así mismo como la gestión eficiente del inventario en todas sus etapas. A esta práctica se unen para complementar correctamente el

proceso las metodologías de lean mediante la cual se da la optimización del flujo logístico, también six sigma determinando la variabilidad y reduciendo errores en el stock y con Kaizen implementar ajustes acordes a los procesos mediante los feedback del cliente.

Inteligencia artificial en el proceso: como se mencionó anteriormente mediante el machine learning se gestiona la precisión del inventario y la anticipación de la demanda, lo cual es capaz de aprender de forma automatizada por medio de los datos históricos en las bases en tiempo real utilizando algoritmos como los árboles de decisión y las redes neuronales, optimizando así el inventario, dando gran capacidad de adaptación al mercado y reducción de costos para así mismo fortalecer la relación con el consumidor final. Posteriormente se realiza el análisis comparativo en la Tabla 3 de los aspectos más relevantes que otorga la implementación del machine learning en este caso de estudio en la gestión del inventario y la demanda.

Tabla 3

Aspectos evaluados de la implementación de IA con machine learning en la gestión de inventario y demanda de ZARA

Aspectos evaluados	Estado inicial de la implementación	Estado final de la implementación (IA, Machine learning)
Gestión del inventario	Se manejan mediante procesos tradicionales (manuales), con procesos lentos y con alta carga operacional lo que resulta ineficiente	Se propone el modelo de automatización y control real del stock, realizando el proceso son generar errores y con mayor agilidad

Rotación del inventario	Se determina la baja rotación de los productos, pero se evidencia acumulación excesiva en los almacenes lo que genera ruido visual y baja demanda	Mediante la implementación automatizada y controlada del inventario se identifica alta rotación de las prendas con salida rápida y generando orden en los almacenes dando un mejor ambiente al consumidor
Capacidad de respuesta a la disponibilidad y demanda del inventario	Falta de productos que son tendencia en los almacenes lo cual baja la rotación del inventario y no cumple con los cambios y necesidades del consumidor	Se analiza de forma automática mediante la conexión con el cliente para saber las tendencias y así tener mayor disponibilidad de los productos solicitados y generar una adaptación inmediata a las tendencias mediante el análisis de los datos
Satisfacción del cliente	Clientes molestos por la poca disponibilidad de prendas en tendencia, falta de tallas, colores y estilos	Se da mayor precisión a la oferta del cliente y mejora la experiencia del cliente en los establecimientos generando mayor rotación de inventario, mejorando la economía de la organización

Fuente. Elaboración propia

Caso 3, Implementación de Algoritmos en el Transporte Urbano de Lima Perú

Se da un caso claro de la aplicación de los algoritmos metaheurísticos más específicamente en el uso de colonias de hormigas (ACO) en la optimización del transporte urbano en lima. Como lo afirma Benites et al. (2021), “Lima es la tercera ciudad más

congestionada del mundo, superada por Bombay en India y Bogotá en Colombia)” (Pág.2) , de esta manera el artículo realiza un análisis de los últimos 5 años (2015- 2019), para identificar las planificaciones y el uso de los algoritmos más específicamente el comportamiento de las colonias de hormigas artificiales que se comunican e interactúan por medio de las feromonas, la metaheurística de la colonia de hormigas se presenta mediante varias fases como la inicialización de los datos, la construcción de soluciones , búsqueda local, actualización de feromonas y el criterio final para la implementación en el transporte público y privado, con el fin de reducir los tiempos de viaje y la congestión vehicular. La aplicación de estos algoritmos da un equilibrio al proceso que se busca realizar en el transporte en Lima, ciudad con alta congestión vehicular.

Datos recopilados: cantidad de rutas utilizadas, niveles de congestión vehicular, tiempos de viajes

Planificación práctica del proceso: desde la fase del algoritmo, desde la inicialización, la construcción de soluciones, la actualización de feromonas en la base local de la información, mediante los algoritmos de metaheurísticas de colonia de hormigas y la simulación y el análisis predictivo en la evaluación de los escenarios del proceso de transporte. Aplicando lean manufacturing para la identificación de las rutas ineficientes six sigma para realizar el estudio de los resultados de la implementación y kaizen para programar los ajustes de manera progresiva a los sistemas

Inteligencia artificial en el proceso: este caso por medio de los algoritmos la inteligencia artificial se toma el mejoramiento en la predicción del tráfico, logrando que los tiempos de viajes reduzcan y mejoren la movilidad urbana y se planifiquen mejor las rutas del transporte en Lima. Como se muestra en la Tabla 4, la implementación de algoritmos metaheurísticos crea una diferencia significativa en este caso mostrando el antes y el después de la ejecución.

Tabla 4

Aspectos evaluados de la implementación de algoritmos ACO en la gestión del transporte en Lima Perú

Aspectos evaluados	Estado inicial de la implementación	Estado final de la implementación (algoritmos ACO)
Gestión de las rutas de transporte público	Se planifican rutas que son fijas y no son eficientes y no mejoran la congestión vehicular	Por medio de los algoritmos se establecen rutas más dinámicas y eficientes que se establecen según las condiciones del tráfico actual
Congestión vehicular	Se presenta alta congestión vehicular en las horas pico ya que no hay gestión de rutas eficientes	Se disminuye de manera dinámica la congestión vehicular por medio de la distribución de algoritmos al flujo vial de manera inteligente
Planificación, predicción y flexibilidad del tráfico	Los cambios no son adaptables y no se encuentran herramientas que aporten a la predicción del tráfico	Los algoritmos genéticos y ACO se implementan la predicción del tráfico y la capacidad de adaptación mediante los análisis predictivos y la simulación continua de las rutas
Toma de decisiones operativas	Decisiones inestables que no aportan a la gestión eficiente del transporte y que no se basan en datos reales	Las decisiones se entregan de manera automatiza conforma a las necesidades de la gestión del transporte, basadas en el aprendizaje y la interacción de los algoritmos a la optimización de las rutas de transporte

Fuente. Elaboración propia

Caso 4, Aplicación del Blockchain en la Trazabilidad en Walmart y Maersk

Como caso de estudio está la empresa Walmart considerada como una de las más grandes corporaciones alimentarias que maneja supermercados y almacenes de descuento en los Estados Unidos, esta empresa a raíz de la problemática sanitaria en la propagación de brotes y enfermedades transmitidas por los alimentos, lo cual conlleva a pérdidas significativas en la economía y la confianza del consumidor en el país, por ende, la empresa decide explorar la tecnología del blockchain en base a sus características que ofrece como la trazabilidad, transparencia y confianza y determinó el uso de Hyperledger Fabric siendo una de las plataformas que maneja blockchain a nivel empresarial la cual trabaja mediante un sistema abierto con control de acceso y permisos, la empresa realiza en su momento un rastreo en la distribución de magos en Estado Unidos y de carne de cerdo en China lo que dio como resultado mediante el uso de Hyperledger Fabric un rastreo de magos que tardaba anteriormente 7 días actualmente tarda 2,2 segundos y en china aportó al aumento de la confianza realizando cargas de forma certificada manteniendo la autenticidad del producto mediante el blockchain. Actualmente la compañía es capaz de rastrear 25 productos de 5 proveedores mediante este sistema y evidentemente planea expandir el sistema a más categorías de productos. La implementación del sistema contribuyó significativamente a la trazabilidad, confianza, eficiencia y transparencia a lo largo del proceso de rastreo de los alimentos, mejorando así los índices de calidad y aportando directamente al aumento de la economía del país (Trust, 2023)

Por otra parte también se expone La compañía Maersk es líder en logística y el transporte marítimo en Dinamarca y según estudios es considerada como una de las empresas pioneras en la adopción del blockchain para el manejo de los procesos logísticos marítimos, por medio de la creación del sistema TradeLens una plataforma de blockchain que permite compartir

información en tiempo real entre los actores de la cadena de valor, brindando la trazabilidad y seguridad completa del movimiento de los envíos generando un impacto en la transformación digital de la industrial, presentando un avance constante en el ecosistema logístico de manera correcta y segura para todos los participantes de la cadena de suministro (Redacción, T. (2023))

Para estos dos estudios presentados se determina:

Datos recopilados: Determinación de los tiempos de rastreo, de origen y del destino de los productos, estableciendo los eventos críticos durante la cadena, estado de contenedores

Planificación práctica del proceso: se realiza la trazabilidad del inventario (mango y carnes), reduciendo el tiempo del rastreo de días a segundos para determinar un sistema más controlado, dando así la planificación correcta con ayuda de lean manufacturing para la disminución de procesos ineficientes durante la trazabilidad, con six sigma lograr mejorar la seguridad y calidad de los alimentos, asegurando su destino cumpliendo con todos los estándares de calidad determinados, por otra parte, con Kaizen se abordan los ajustes pertinentes las bases de información data de manera constante para llevar un control óptimo del inventario en tiempo real.

Inteligencia artificial en el proceso: la inteligencia artificial junto con Blockchain abordan este tipo de casos para detener las anomalías y movimientos incorrectos del inventario en la cadena de suministro para otorgar mayor seguridad y transparencia en la trazabilidad de los productos, cumpliendo así con la eficiencia del proceso y asegurando la trazabilidad de extremo a extremo del flujo logístico. A continuación, se analiza en la Tabla 5, el antes y después de la implementación de la tecnología blockchain a los procesos de estas dos empresas.

Tabla 5

Aspectos evaluados de la implementación de Blockchain en la trazabilidad de productos en Walmart y Maersk

Aspectos evaluados	Estado inicial de la implementación	Estado final de la implementación (Blockchain)
Tiempo de rastreo de los productos	El proceso de la trazabilidad se tardaba hasta 7 días calendario	En la empresa de Walmart rastreo en solo 2,2 segundos con sistema blockchain la trazabilidad de los productos por medio de Hyperledger Fabric
Seguridad y transparencia en los datos y la información	Se evidencia alta vulnerabilidad en la manipulación de los datos y baja visibilidad de todos los actores que hacen parte de la cadena de suministro	Se obtiene el acceso completo y compartido con todos los actores que hacen parte de la cadena de suministro y se mantiene un registro seguro de cada movimiento que se realiza con el inventario con el control necesario dando seguridad y transparencia a los procesos de las dos organizaciones
Prevención de errores y fraudes	Se obtiene una alta probabilidad de que la información y los datos se pierdan por ende no se tiene control del inventario ni de las rutas	El uso de la IA y el blockchain detectan las anomalías que suceden en el transcurso del movimiento generador con el inventario, dando la posibilidad de actuar al instante frente a cualquier error generado

Impacto en la operación	Se cataloga procesos lentos e ineficientes con altos riesgos sanitarios y logísticos en la trazabilidad, seguridad y transparencia en los procesos de las organizaciones	Se crean procesos más seguros y con mayor control, además de ser eficientes y auditables que se alinean a sistemas de innovación continuos otorgando mayor confiabilidad a las empresas en cuanto a la seguridad y trazabilidad confiable de su inventario y sus rutas con los actores que hacen parte de la cadena de suministro como sucede con las empresas Walmart y Maersk
--------------------------------	--	---

Fuente. Elaboración propia

Evaluación de Resultados por Medio De Indicadores Clave

Indicadores de Medición de Eficiencia, Reducción de Mermas, Impacto en la Sostenibilidad, Innovación y la Toma Correcta de Decisiones Encontrados en los Casos de Estudio

Es importante vincular los indicadores de eficiencia, reducción de mermas, la sostenibilidad, innovación y la correcta toma de decisiones en los procesos de la cadena de suministro, por tal razón, se realiza la evaluación de los resultados encontrados en los estudios de caso expuestos en la sección anterior, para determinar cómo actúa la inteligencia artificial con las tecnologías emergentes estudiadas junto con los enfoques de lean manufacturing, six sigma y kaizen, como es su comportamiento en la industria manufacturera, en los centros de distribución y demás industrias claves, con procesos dispendiosos en su cadena de suministro, con el fin de facilitar las actividades operacionales de las áreas y que las empresas progresen conforme al avance tecnológico actual y la intervención de la inteligencia artificial en los procesos. A continuación, se especifican los casos de estudio conforme a los indicadores mencionados y lo que se logra identificar en cada uno de los procesos:

Lean manufacturing y Kaizen en la fábrica de envases P&G. La eficiencia operativa se identifica en la optimización del proceso de fabricación y diseño de los envases para la compañía P&G, donde se crea la estandarización de los procedimientos y se realiza la reorganización del área para la eliminación de movimientos y uso de materiales que no aportan al medio ambiente, por tal razón mediante la implementación de sensores IoT se identificaron los puntos críticos en el uso de los materiales correctos para recibir las ineficiencias y el mejoramiento del desempeño del proceso de fabricación de los envases.

En la reducción de mermas se logra determinar la sustitución de los materiales plásticos que no cumplen con la sostenibilidad, los cuales se sustituyen por insumos que son reciclables y biodegradables, tales como el papel, la madera laminada, los envases que son compostables, disminuyendo así la generación de residuos causales de daños al medio ambiente y genera un modelo de economía circular capaz de reducir las mermas y proporcionar a más proceso de la cadena de suministro aportes significativos que ayuden de manera significativa a cada proceso. Por otra parte, la sostenibilidad es parte fundamental en esta implementación ya que mediante el ecodiseño de los envases se permitió que el impacto ambiental generado disminuyera y cumpliendo con las normativas ambientales creando una producción de envases más responsable.

Todo el rediseño de los envases y la sustitución de materiales deja huella de una transformación evidente de innovación al integrar las capacidades de las herramientas del lean manufacturing, Kaizen y la inteligencia artificial y sistemas IoT para mejorar el control y alinear los procesos con las tendencias del mercado cada vez más exigentes y consistentes con el medio ambiente, de este modo la toma de decisiones mediante esta implementación en la fabricación de los envases se hace más ágil y proactiva generando mayor impacto positivo al medio

ambiente y creando constantemente una mejora continua con enfoque siempre a la sostenibilidad.

Machine learning aplicada en Zara. La eficiencia operacional se identificó en la gestión dinámica de los inventarios y la predicción de la demanda, ya que en el momento que las tiendas reciben los productos más demandados se controla de manera eficiente el stock físico y se maneja de manera más proactiva los inventarios de la empresa.

La reducción de mermas se realizó mediante el ajustamiento de la demanda real y evitando la sobreproducción del inventario y las prendas que no se encuentran en tendencia ya que esto generaba reprocesos y pérdidas, además mejora la gestión en las devoluciones y quejas por parte de los clientes y de mejora continua a la rotación del inventario.

La sostenibilidad también se evidencia en la disminución de residuos textiles y por ende a la optimización del transporte logístico, minimizando el impacto ambiental en el exceso de producción.

Este proceso de optimización del inventario y demanda expone procesos de innovación al implementar la inteligencia artificial predictiva por medio del análisis de los comportamientos de los clientes y el uso de las radiofrecuencias con microchips para la trazabilidad y asegurar la transparencia del proceso. Todos los cambios efectuados al proceso garantizan que la toma de decisiones sea de manera más acorde y enfática a la producción, el marketing y a la distribución del inventario.

Algoritmos ACO en el transporte urbano de Lima Perú. La disminución en los tiempos de viaje y el mejoramiento del desempeño en tiempo real del tráfico hace que la eficiencia

operacional del proceso se optimice el flujo vehicular para hacer que los viajes sean más cortos y mejorar el transporte

En la reducción de mermas se identificó la disminución del tiempo perdido en las rutas y la congestión vehicular, disminuyendo el consumo de combustible lo que aporta también a la sostenibilidad del proceso y mejorar la calidad de vida de la población, creando innovación por medio de algoritmos metaheurísticos para resolver los inconvenientes del transporte urbano y combinar los análisis predictivos y simular estrategias a largo plazo para la movilidad

Blockchain aplicado en Walmart y Maersk. La medición de la eficiencia se da a partir del rastreo de los productos en tiempo real de los productos como lo ejecuta la empresa Walmart, reduciendo el tiempo de auditorías de siete días a segundos lo cual mejora la sincronización entre los proveedores y los centros de distribución al igual que el control en las rutas marítimas de mercancía de la empresa Maersk generan mayor operatividad y control frente al transporte marítimo

En la disminución de mermas se identificaron de manera rápida los productos que se encontraban contaminados y en mal estado y con mal almacenamiento para evitar las medidas en grandes volúmenes y aumentar la productividad en el inventario.

Se encuentra sostenibilidad en el proceso cuando se genera menor desperdicio alimentario y se realiza la trazabilidad del inventario de forma exacta y evita la destrucción de lotes de manera innecesaria para mejorar y disminuir el impacto de estas prácticas en la salud pública, también se evidencia la implementación de innovación al aplicar la tecnología blockchain en la interacción segura y automatizada entre los diferentes actores de la cadena, asegurando la trazabilidad y la seguridad del proceso de rastreo, lo cual permite que en la

operación se tomen decisiones correctas conforme a la novedad en tiempo real y dar respuestas anticipadas a los incidentes logísticos.

Discusión

Interpretación de Resultados de los Estudios de Casos Planteados Mediante Indicadores de Alto Impacto

Eficiencia Operativa

En esta fase se evidencian mejoras significativas en la minimización de tiempos durante los procesos, la optimización de rutas e inventarios, además de la automatización de las tareas que se realizan de forma repetitivas, para dar optimización a los procesos de los diferentes casos en cada una de las etapas donde la eficiencia operacional es primordial para encontrar el balance, la transformación y éxito organizacional.

Reducción de Mermas

Se presentan mejoras relevantes la optimización de los datos de manera precisa, lo cual ha permitido que los desperdicios se minimizan de forma continua y correcta, evitando la sobreproducción, los movimientos innecesarios en inventarios y operación, como es un claro ejemplo el de Zara que realiza una participación importante al integrar una demanda que permite ajustar la producción anticipada según las necesidades del cliente y evitando inventarios excedentes en los productos.

Sostenibilidad

Mediante las mejoras en la eficacia operativa y la reducción de mermas se traducen en beneficios plenamente sostenible para la cadena de suministro, presentando mejoras y beneficios para el medio ambiente, tales como la reducción del consumo energético, la disminución de desperdicios y la optimización de transportes, como se evidencia en el caso de las mejoras implementadas en el transporte urbano por medio de algoritmos propios de la inteligencia artificial para mostrar rutas más eficientes y reduciendo el consumo de combustible lo cual

genera un impacto positivo considerable para el medio ambiental, de igual manera el estudio de caso de Procter y Gamble donde se incorpora la disminución de uso de plásticos y se empiezan a utilizar materiales reciclables en la fabricación de los envases lo cual genera una disminución en factores que afectan el medio ambiente y se crea sostenibilidad en el proceso de esta organización

Capacidad en la Innovación y Toma de Decisiones

A través de la incorporación de inteligencia artificial con enfoques en Lean Manufacturing, six sigma y kaizen además de las tecnologías innovadoras se ha generado un impacto positivo en la innovación tecnológica en la cadena de suministro y en la toma correcta de decisiones de cara a la excelencia operacional, ofreciendo un monitoreo continuo en tiempo real para actuar en caso de problemáticas y garantizar el éxito en las operaciones industriales y logísticas.

El análisis realizado a los casos de estudio presentados otra una perspectiva futurista y con tendencias emergentes continuas para la cadena de suministro, teniendo una visualización clara hacia la autonomía dimensional, dando una evolución natural a los procesos y sistemas actuales apuntando a sistemas con capacidad autónoma y eficiente en los procesos, además de la integración continua de tecnologías complementarios y generar sistemas que participen de forma potencial en las problemáticas que se presentarán en el futuro en la industria y la logística, desarrollando plataformas más accesibles y complementarias permitiendo que las organizaciones obtengan una transformación digital en su cadena de suministro, brindando sostenibilidad como punto clave para la innovación, trascendiendo en la eficiencia económica para las pequeñas, medianas y grandes organizaciones. Estos estudios de casos analizados proporcionan en gran medida la pertinencia y la viabilidad del modelo de investigación que se ha propuesto, donde se

integra la inteligencia artificial, las tecnologías emergentes y los enfoques en las metodologías en la cadena de suministro evidenciando resultados que demuestran el enfoque sistemático integrado a los procesos generando beneficios tangibles y con múltiples dimensiones positivas para la operación industrial y Logística de las empresas, otorgando así eficiencia operativa mejorada, la reducción significativa de desperdicios, la innovación y sostenibilidad en los procesos, complementando con la toma de decisiones correctas y dinámicas acordes a los cambios del mercado generando adaptabilidad, éxito y mejora continua, pasando de procesos tradicionales a la innovación tecnológica con soluciones tangibles en el cambio industrial, logístico y empresarial.

Discusión Puntual de los Resultados en Relación con los Antecedentes Teóricos de los Enfoques de Lean, Six sigma y Kaizen

Las metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen, aunque no siempre se aplican en conjunto en todos los casos de estudio, demuestran su interacción y beneficios en la operación logística.

Procter & Gamble (Interacción de Lean Manufacturing y Kaizen en la Sostenibilidad)

Lean Manufacturing: Se utiliza para identificar procesos innecesarios, como el uso de materiales no reciclables y el análisis del impacto ambiental. Su aplicación busca optimizar el diseño de los envases para cumplir con normativas sostenibles.

Kaizen: Se enfoca en la mejora continua de la eficiencia operativa, mientras se ejecutan acciones para reducir el impacto ambiental y lograr la sostenibilidad.

Interacción: Ambas metodologías trabajan de la mano para equilibrar la eficiencia operativa con el cumplimiento de las normas ambientales, buscando la sostenibilidad y la calidad en los procesos de fabricación. La estandarización de procedimientos y la reorganización del área

de herramientas son ejemplos de la planificación práctica para la optimización del diseño de envases.

Impacto analizado: Reducción de residuos no reciclables: **15-25%** (al optimizar el diseño y uso de materiales).

Disminución del tiempo de ciclo en el diseño de envases: **10-20%** (gracias a la estandarización y optimización de procesos).

Mejora en el cumplimiento de normativas sostenibles: **20-30%** (al integrar la sostenibilidad como un objetivo de mejora continua).

Zara (Gestión de Inventario y Demanda)

Lean: Complementa la práctica optimizando el flujo logístico.

Six Sigma: Se une al proceso para determinar la variabilidad y reducir errores en el stock.

Kaizen: Implementa ajustes acordes a los procesos mediante la retroalimentación del cliente.

Interacción: Las metodologías tradicionales se integran para afinar y mejorar los procesos. Lean optimiza el flujo, Six Sigma reduce errores en el inventario y Kaizen permite la adaptación continua basada en la interacción con el cliente. Esto contribuye a una gestión de inventario más ágil y a una mayor capacidad de respuesta a la demanda.

Impacto analizado: Reducción de inventario obsoleto/excedente: **20-35%** (por la optimización del flujo y la reducción de errores).

Disminución de errores de inventario (precisión del stock): **15-25%** (debido a la reducción de variabilidad).

Mejora en la capacidad de respuesta a la demanda del cliente: **10-20%** (gracias a la agilidad y adaptación continua).

Reducción de los tiempos de entrega (lead time): **5-15%** (por un flujo logístico más eficiente).

Transporte Urbano de Lima, Perú (Implementación de Algoritmos ACO)

Lean Manufacturing: Se aplica para identificar rutas ineficientes en el transporte urbano.

Six Sigma: Se utiliza para realizar el estudio de los resultados de la implementación de los algoritmos y así reducir la variabilidad en los tiempos de viaje y congestión.

Kaizen: Se encarga de programar los ajustes de manera progresiva a los sistemas para la mejora continua de la movilidad urbana.

Interacción: Las metodologías actúan como un marco para garantizar que la implementación de los algoritmos sea eficiente, efectiva y adaptable. Lean identifica problemas, Six Sigma evalúa la mejora de los resultados y Kaizen asegura que los ajustes se realicen de forma continua.

Impacto analizado: Reducción de tiempos de viaje promedio: **10-20%** (por la optimización de rutas y reducción de variabilidad).

Disminución de la congestión en puntos clave: **15-25%** (gracias a una mejor planificación y ajuste continuo).

Mejora en la eficiencia del uso de combustible (por reducción de distancia o tiempos de espera): **5-10%**.

Aumento en la satisfacción del usuario: **5-15%** (debido a viajes más predecibles y rápidos).

Walmart y Maersk (Aplicación de Blockchain en la Trazabilidad)

Lean Manufacturing: Se utiliza para la disminución de procesos ineficientes durante la trazabilidad de los productos.

Six Sigma: Se enfoca en mejorar la seguridad y calidad de los alimentos, asegurando su destino y el cumplimiento de los estándares de calidad.

Kaizen: Aborda los ajustes pertinentes en las bases de información de manera constante para un control óptimo del inventario en tiempo real.

Interacción: Lean, Six Sigma y Kaizen son cruciales para optimizar los procesos logísticos que se benefician de la tecnología. Lean elimina ineficiencias en el rastreo, Six Sigma garantiza la calidad y seguridad de los productos y Kaizen permite ajustes continuos para mantener un control óptimo del inventario en tiempo real. La combinación de estas metodologías contribuye a procesos más seguros, controlados, eficientes y auditables.

Impacto analizado: Reducción del tiempo de trazabilidad de un producto: **80-95%** (de días/horas a segundos/minutos).

Disminución de errores en la información de trazabilidad: **20-40%** (gracias a la inmutabilidad y transparencia de Blockchain).

Mejora en la detección y respuesta a problemas de calidad/seguridad: **50-70%** (al tener datos en tiempo real y auditables).

Aumento en la precisión del control de inventario en tiempo real: **15-30%**.

Reducción de mermas por productos defectuosos o vencidos: **5-15%** (por una mejor gestión y visibilidad).

Análisis del Valor Teórico/Practico y Presentación de Propuesta de Impacto y Mejora Continua en Base al Modelo Investigativo Desarrollado

Considerando de manera explícita el marco teórico previamente expuesto y la fundamentación en la revisión detallada de la literatura en interacción directa con el objetivo central de esta monografía el cual es la implementación de mejoras continuas en la cadena de suministro industrial mediante la inteligencia artificial, las tecnologías emergentes con enfoques en Lean manufacturing, six sigma y Kaizen, se propone una estrategia fundamentada y estructurada que desarrolla la interacción progresiva de estas metodologías, tecnologías emergentes y enfoques en los procesos de la cadena de suministro industrial. Como sustento para esta propuesta también se analizan los casos de estudio de las empresas que participan actualmente en la incorporación de enfoques actuales de tecnologías e inteligencia artificial en sus sistemas de operación, lo cual funciona como referencia para el desarrollo de la propuesta

En este contexto, se plantea la adaptación de tecnologías emergentes y algoritmos de inteligencia artificial a las infraestructuras críticas como lo son los sistemas sorter, los cuales son empleados para la clasificación de productos conforme a los parámetros definidos de cada organización, no obstante de que estos sistemas cuenten con software con sistemas avanzados, se evidencia aun en los entornos logísticos equipos con esquemas de manejo manuales, lo que representa desalineación en la eficiencia operacional, pero que sin embargo estos equipos en su mayoría cuentan con una vida útil aún considerable lo que significa que tienen oportunidad operacional, por lo tanto, surge la estrategia para implementar soluciones de automatización

inteligentes por medio de los algoritmos de la inteligencia artificial, las tecnologías emergentes como el blockchain, el sistema IoT y machine learning. Esta estrategia de oportunidad de mejora permitirá que los equipos sorter tengan una funcionalidad más extensa y por ende generar entornos más productivos dando aprovechamiento masivo a los equipos operativos y que se desarrollen sistemas que se adapten y sean eficientes en la alineen con los principios de mejora continua que manejan las metodologías de Lean manufacturing, Six sigma y Kaizen.

Este planteamiento se enfoca en las necesidades que tienen actualmente las organizaciones industriales en el proceso de adaptación a los entornos dinámicos, volátiles, competitivos y en la búsqueda de convertirse en cadenas de suministro más inteligentes y con optimización masiva en sus procesos, así como se evidencio en los casos de estudio expuestos, organizaciones como Zara, P&G, Walmart , Maersk y línea de transportes en Lima optimizan sus procesos mediante las herramientas que ofrece la inteligencia artificial actualmente con enfoques en Lean manufacturing, Six sigma y Kaizen interviniendo en sus procesos de gestión de inventarios, trazabilidad, toma de decisiones y reducción de mermas, por esta razón esta propuesta tiene como objetivo la optimización de la eficiencia operacional de los equipos industriales, de este modo también se tienen en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), establecidos por la asamblea general de las naciones unidas (ONU) en el año 2015, los cuales con esenciales para el fundamento de esta propuesta ya que esta contribuye a los siguientes dos objetivos:

Industria, innovación e infraestructura (objetivo 9): por medio de la implementación tecnológica y algoritmos de IA se le permite a las empresas modernizar los procesos industriales y promover la transformación digital, fortaleciendo la innovación en la infraestructura de las medianas y grandes empresas manufactureras con la optimización de sus equipos industriales.

Producción y consumos responsables (objetivo 12): mediante el uso eficiente y responsable de los recursos con ayuda de los equipos automatizados e inteligentes (sorter) se da la optimización energética y reducción de los desperdicios y procesos innecesarios, promoviendo un modelo de producción más sostenible para las organizaciones. Los equipos industriales optimizados y automatizados permiten el control de los recursos lo cual reduce el impacto ambiental y fomenta las buenas prácticas de consumo responsable.

Planteamiento de la Propuesta de la Adaptación de Tecnologías Emergentes y Algoritmos de Inteligencia Artificial a los Equipos Sorter Industriales

Para realizar la automatización de estos equipos y darles el aprovechamiento correcto por medio de las tecnologías emergentes y la inteligencia artificial se determinan las siguientes acciones:

1. La instalación de sensores con conectividad IoT, con el propósito de monitorear los parámetros importantes como la temperatura, velocidad, peso, entre otros (según la organización), estos sensores le permitirán al sistema del equipo la recopilación en tiempo real de los datos ejecutados en la operación, los cuales se transmiten a las plataformas de análisis inteligente para detectar fallas y prevenirlas a tiempo.

2. Análisis predictivo y mantenimiento mediante Machine learning, : mediante las técnicas avanzadas del machine learning se desarrolla un modelo de análisis que prevé de forma anticipada los mantenimientos antes de que ocurran las fallas, minimizando la interrupción en la conexión, optimizando la gestión de los recursos de mantenimiento y mejorando el flujo correcto de la operación.

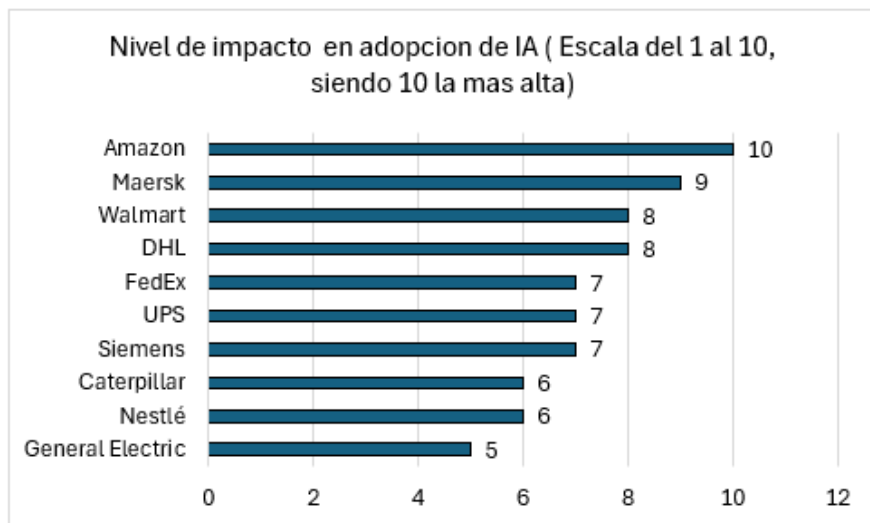
3. Implementación de blockchain en la trazabilidad segura en la cadena de suministro: por medio del sistema blockchain se garantiza la trazabilidad de la operación realizada, mejorando la confianza y seguridad en el proceso, ya que por medio de la conexión de algoritmos de IA al software de gestión de las organizaciones se obtiene mayor control del inventario y se pueden gestionar de manera inmediata las novedades, aumentando la transparencia en el proceso.

4. Interacción con lean manufacturing, six sigma kaizen: estas metodologías se enfocan en la eliminación de desperdicios como los tiempos muertos en la operación de los equipos, procesos innecesarios, errores en la clasificación de los productos y paradas imprevistas, de igual manera facilitan el rediseño del layout de los sistemas sorter para evitar los errores operativos y los cuellos de botella. mediante el enfoque de six sigma por medio del ciclo DMAIC permite que las operaciones sean controladas y se establezca reducción en la variabilidad, mientras que con la metodología Kaizen impulsa de manera eficiente la cultura organizacional sostenible del proceso operativo.

Con el análisis del enfoque propuesto en la aplicación de esta iniciativa para los equipos operativos en la industria, es importante señalar la transformación que vienen realizando las empresas hacia un entorno basado en innovación tecnológica, pero que aún se encuentra en proceso de fortalecimiento. Esta interacción busca que el rendimiento de los equipos industriales tenga un valor agregado mediante la automatización inteligente, a continuación, en la Figura 12, se presentan 10 empresas líderes actualmente a nivel global que han adoptado algoritmos de inteligencia artificial y tecnologías emergentes en sus procesos industriales, según los estudios que se han realizado. Es de aclarar que, aunque la adopción no es de forma masiva, esta incorporación sigue en crecimiento.

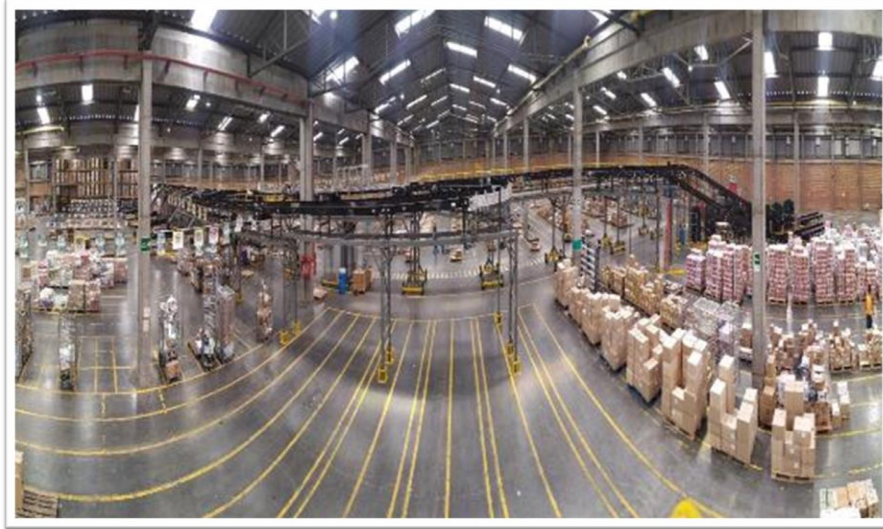
Figura 12

Top 10 de las Empresas Líderes a Nivel Global que han Adoptado Algoritmos de Inteligencia Artificial y tecnologías Emergentes.



Fuente. Elaboración Propia

Considerando el planteamiento realizado y el análisis de la propuesta, se toma como caso de referencia la implementación de automatización tecnológica en los procesos de distribución del Grupo éxito, siendo una de las compañías más grandes del país en el sector retail, el cual destaca por la adopción de un sistema de clasificación sorter en el centro de distribución Cedi ubicado en Funza, (Figura 13) siendo el más grande de la organización. Mediante esta solución tecnológica se resalta la eficiencia operativa al permitir la gestión sistematizada en el proceso de despacho de mercancía a más de 250 tiendas de venta que maneja a nivel nacional el Grupo Éxito, esta integración del sorter en la cadena de suministro representa un avance en la mejora del flujo de distribución del inventario.

Figura 13*Sistema Sorter Grupo Éxito*

Nota. Centro de distribución de cedi Funza, sistema de clasificación Sorter [Imagen]. 2025

De esta manera se plantea este equipo como ejemplo clave de la implementación que se propone en esta monografía, ya que se trata de un sistema de clasificación que cumple de manera eficiente con sus funciones operativas y que actualmente también presenta limitaciones como su operación de forma manual y el registro de los datos. Este sistema contribuye al despacho ágil de la mercancía, pero su potencial puede lograr una mejora considerable en su desempeño operativo mediante la incorporación de tecnologías emergentes y los algoritmos de la inteligencia artificial.

La incorporación de las plataformas utilizadas en la organización al sistema sorter como lo es el sistema WMS y SINCO usados para la gestión y control del inventario, permite que el sorter se sincroniza en tiempo real con la operación para mejorar la trazabilidad, reduciendo de forma considerable los errores manuales y optimizando continuamente el flujo de distribución hacia los diferentes almacenes. Al implementar herramientas claves de machine learning,

blockchain e inteligencia artificial dentro del sistema de control permite que el equipo trabaje de forma autónoma asegurando la actualización del inventario y gestión precisa de los datos e información en tiempo real, mejorando factores como la toma de decisiones inteligentes y dinámicas. Adicionalmente, la ejecución de metodologías de mejora continua como lo es lean manufacturing, six sigma y kaizen, permiten que el desempeño del sistema operacional sea más dinámico, sostenible y productivo, ya que lean contribuye a la eliminación de mermas, six sigma permite minimizar la variabilidad en los procesos, datos y mejorar la calidad del sistema y con el sistema Kaizen se garantiza una cultura organizacional de mejora continua constante. La articulación de estas metodologías con un equipo tecnológico como el sorter garantiza de forma estratégica el cumplimiento de los indicadores operativos como el OTIF (On Time In Full), la mejora y el fortalecimiento de la eficiencia, la disminución de mermas, la productividad, sostenibilidad y trazabilidad en la operación, creando equipos industriales seguros y capaces de adaptarse a los cambios de innovación tecnológica actual, avanzando hacia un modelo de operación de excelencia, convirtiéndose en un sistema que le permite a las organizaciones tener sistemas de gestión inteligentes.

Para proporcionar una visión más clara de los objetivos que se buscan lograr mediante esta propuesta, se presenta un análisis ilustrado donde se compara el comportamiento de los equipos en la operación, en el cual el equipo aún no ha sido automatizado mediante la inteligencia artificial (Figura 14) y posteriormente se evidencia un escenario donde el equipo ha sido automatizado y se visualiza un flujo continuo de mercancía con mínimo de tasa de error (Figura 15), gracias a la incorporación de herramientas y metodologías estudiadas en esta monografía.

Figura 14

Sistema Sorter en Operación Normal sin Automatización



Fuente. Gemini IA. (2025)

Figura 15

Sistema Sorter Automatizado



Nota. Mediante Algoritmos de IA machine learning, Blockchain y enfoques Lean manufacturing, six sigma y Kaizen Fuente. Gemini IA. (2025)

El enfoque central de esta implementación es aprovechar los recursos actuales de las organizaciones, permitiendo que los equipos se adapten a la evolución tecnológica actual, sin necesidad de adquirir nuevos activos, de esta manera, se logra la optimización de costos, prolongando la vida útil de los equipos y mejorando la eficacia operativa, generando un ahorro significativo para la industria. Además, esta propuesta incentiva a que las organizaciones transformen las cadenas de suministros en sistemas más dinámicos, ágiles y sostenibles.

Realizando un análisis de mejora se estima que esta implementación tenga beneficios medibles como:

Reducción de Mermas y Costos Operativos: La implementación de este modelo, integrando Lean y Six Sigma se anticipa que resultará en una reducción significativa de las mermas estimando de un 10 a 25%, de igual manera se traducirá directamente en una disminución de los costos operativos estimado en un 5 a 15%

Incremento de la Eficiencia Operativa y Productividad: La automatización, optimización y análisis avanzado de datos por parte de los equipos se espera que incrementen la eficiencia general de los procesos en la cadena de suministro entre un 15 a 30%) y, por ende, la productividad de un 10 a 25%

Mejora en la Toma de Decisiones: La capacidad de análisis avanzado de datos y la transparencia proporcionada por tecnologías como Blockchain, permitirán al equipo de trabajo tener una toma de decisiones más informada y rápida estimada de un 20 a 40%, mejorando la capacidad de respuesta y la resiliencia de la cadena de suministro frente a posibles interrupciones

Potenciación de la Innovación Empresarial: La integración de este modelo propuesto fomentará un entorno de mejora continua, lo que se espera que impulse la innovación dentro de

la empresa entre un 15 a 30% dando iniciativas de mejora permitiendo la adaptación a nuevos desafíos y oportunidades.

Finalmente, considerando todo el esquema del modelo de investigación y la propuesta de mejora continua para la cadena de suministro, se concluye que este modelo Investigativo tiene implicaciones teóricas en el avance del conocimiento, la innovación de modelos(infraestructura), permitiendo que se desarrollen y se integran teorías de sistemas sostenibles a medida que va avanzando la tecnología. Por otra parte, la implicación práctica de este modelo en las empresas se maneja dentro de la reorganización de los procesos y la información adecuada que brinda este modelo investigativo. Las empresas logran determinar que procesos requieren de cambios y actualización tecnológica además de la constante capacitación sobre información actualizada de innovación en la cadena de suministro, teniendo en cuenta cada una de las herramientas, tecnologías y enfoques vistos en esta monografía las empresas logran tener al detalle la información más relevante sobre el avance actual en la logística por medio de la era digital actual, la cual avanza constantemente.

Esta monografía contribuye de manera central al conocimiento en el campo de estudio de la ingeniería industrial, estableciendo un marco que permite la optimización de los procesos logísticos, proporcionando herramientas de análisis avanzadas teniendo como referencia las metodologías clásicas para analizar y centrarse en las capacidades predictivas de sistemas de automatización de la inteligencia artificial y tecnologías emergentes en el proceso creciente de la transformación digital de la cadena de suministro, de esta manera, mediante la información brindada en esta monografía y la implementación de este modelo investigativo y propuesto, las empresas pueden obtener mejoras en sus procesos industriales, optimizando recursos y aumentando la competitividad a nivel global.

Conclusiones

La presente monografía se ha enfocado de manera integral en la implementación de mejoras continuas en la cadena de suministro industrial por medio de la integración de inteligencia artificial (IA), y tecnologías emergentes con enfoques en Lean manufacturing, six sigma y kaizen, teniendo en cuenta la Necesidad de modernización en las Cadenas de Suministro, este trabajo propone un modelo de investigación sólido, sustentando su viabilidad por medio de casos reales de automatización demostrando el potencial de transformación en la optimización, automatización, reducción de mermas, el aumento de la eficiencia operativa, la innovación empresarial, sostenibilidad y mejoramiento en la toma de decisiones.

Esta monografía ha logrado integrar con éxito la fundamentación y conceptualización del modelo investigativo propuesto en los objetivos donde se interconecta la inteligencia artificial, con las tecnologías emergentes (Machine Learning, Blockchain, IoT) con metodologías de Lean manufacturing, six sigma y Kaizen. La validez de este enfoque se respalda mediante una rigurosa revisión teórica y el análisis de estudios de caso reales y prácticos de implementación en diversas empresas, como Procter & Gamble, Zara, Maersk, Walmart y en el transporte urbano de Lima. Esto nos permite justificar la interacción de las tecnologías en la mejora operativa de la cadena de suministro.

El análisis desarrollado a lo largo de esta monografía demuestra que la combinación estratégica de tecnologías avanzadas y enfoques innovadores en la cadena de suministro contribuye significativamente a diversos pilares. Entre ellos se destacan la predicción de la demanda y la gestión de inventarios, así como una mejora sustancial en la trazabilidad, transparencia y seguridad en tiempo real. De igual manera, se observa un notable potenciamiento

de la eficiencia, la innovación, la sostenibilidad y la adaptabilidad de los procesos dentro de las cadenas de suministro industriales.

De la misma manera mediante el estudio de la información se han identificado ineficiencias claves en los procesos de la cadena de suministro de las cuales se derivan las mejoras continuas, estas ineficiencias encontradas tienen que ver con la gestión manual del inventario, la falta de trazabilidad y visibilidad de la mercancía, la carencia de formación y capacitación en tecnologías de innovación actuales, la congestión vehicular por falta de control en rutas, altos niveles de residuos operativos, huella de carbono y movimientos innecesarios de inventario. Todas estas ineficiencias generaron que se evidenciaron áreas con oportunidad de mejora, las cuales se centran en la automatización de los procesos, las rutas, la predicción correcta de demanda y gestión de inventario, la mejora en la sostenibilidad mitigando desperdicios, centrándose en la economía circular como parte fundamental para el ciclo correcto de la cadena de suministro, fortaleciendo de manera congruente la toma de decisiones. Este modelo investigativo demuestra cómo la inteligencia artificial articulada con las metodologías Lean, six sigma, Kaizen aportan soluciones concretas a estas ineficiencias operacionales.

El modelo propuesto en esta monografía articula la interacción entre la inteligencia artificial, las tecnologías emergentes y las metodologías, fundamentándose en el marco teórico materializando una estrategia actualizada para adaptar estas tecnologías a las infraestructuras industriales existentes, como lo son los sistemas de clasificación sorter. Este modelo es basado en la compilación de información y datos operativos en tiempo real mediante IoT, creando un análisis predictivo mediante machine learning, la gestión, la trazabilidad, seguridad y control por medio de blockchain y de la misma manera la aplicación de lean, manufacturing, six sigma y kaizen para la eliminación de las mermas, la reducción de la variabilidad, fomentando la mejora

continua y la optimización d de los recursos industriales, alineándose también a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), como caso puntual se expuso al Grupo éxito y su sistema sorter en el cual se puede implementar la propuesta para lograr una gestión inteligente del proceso de la cadena de suministro.

La viabilidad y los beneficios de modelo propuesto se evalúa concluyendo de manera eficaz en el análisis de los estudios de caso de empresas líderes, por medio de la evaluación de indicadores clave de rendimiento a las empresas Procter & Gamble, Zara, Walmart, Maersk y el transporte urbano de Lima y de la misma manera en la propuesta de implementación de los factores estudiados (Inteligencia artificial, machine learning, blockchain, IoT, lean manufacturing, six sigma y kaizen) en las infraestructuras industriales, todo con el fin de proporcionar cadenas de suministro más inteligentes, dinámicas y que sean capaces de adaptarse a los cambios constantes del mercado, logrando la excelencia operacional en la industria.

Recomendaciones

Priorizar la Integración Holística de Metodologías

Se recomienda un enfoque que no solo incorpora las tecnologías emergentes, sino que asegure una integración sinérgica con las metodologías Lean, Six Sigma y Kaizen. Esto implica diseñar modelos donde estas filosofías actúen como el marco estratégico, y la tecnología como la herramienta habilitadora para alcanzar los objetivos de eficiencia, calidad y mejora continua.

Fomentar la creación de equipos multidisciplinarios que combinen expertos en cadena de suministro, ingenieros de datos, especialistas en sistemas avanzados y profesionales con experiencia en Lean, Six Sigma y Kaizen para garantizar una implementación coherente y efectiva.

Desarrollar una Hoja de Ruta Tecnológica Estratégica

Es crucial definir una hoja de ruta clara para la adopción de tecnologías emergentes (Blockchain, Machine Learning, IoT). Esta hoja de ruta debe estar alineada con los objetivos de mejora de la cadena de suministro e identificar las áreas de mayor impacto donde estas tecnologías pueden generar un valor significativo (ej., trazabilidad con Blockchain, optimización de inventario con Machine Learning, monitoreo en tiempo real con IoT).

Considerar la escalabilidad y la interoperabilidad de las soluciones tecnológicas. Las implementaciones deben ser flexibles para adaptarse a futuros cambios y compatibles con los sistemas existentes en la cadena de suministro.

Enfocarse en la Calidad y Gobernanza de los Datos

La eficacia del Machine Learning depende directamente de la calidad de los datos. Se recomienda invertir en la recolección, limpieza, estandarización y gobernanza de los datos a lo largo de toda la cadena de suministro.

Establecer protocolos claros para la recolección de datos del IoT y otras fuentes, asegurando su relevancia, precisión y seguridad para alimentar los modelos predictivos y prescriptivos.

Promover una Cultura Organizacional de Mejora Continua y Adaptación

La implementación exitosa de estas iniciativas requiere un cambio cultural significativo. Es fundamental fomentar una mentalidad de mejora continua (Kaizen) en todos los niveles de la organización, promoviendo la experimentación, el aprendizaje de los errores y la adaptación a nuevas tecnologías.

Invertir en programas de capacitación y desarrollo para el personal, asegurando que adquieran las habilidades necesarias para trabajar con análisis de datos y las nuevas herramientas implementadas. La resistencia al cambio puede mitigarse mediante la comunicación efectiva de los beneficios y la participación de los empleados.

Establecer Métricas Claras y un Marco de Evaluación de Impacto

Antes, durante y después de la implementación, es vital definir métricas claras y cuantificables para evaluar el impacto de las mejoras. Estas métricas deben estar alineadas con los principios de Lean (eliminación de desperdicios), Six Sigma (reducción de variabilidad y defectos) y los objetivos generales de la cadena de suministro (eficiencia operativa, satisfacción del cliente, reducción de costos).

Implementar un sistema de monitoreo continuo que permita el análisis de datos en tiempo real para identificar desviaciones, oportunidades de mejora y ajustar las estrategias según sea necesario.

Considerar la Ciberseguridad y la Ética en la Implementación de Sistemas Avanzados

A medida que aumenta la dependencia de la tecnología y los datos, es imperativo fortalecer las medidas de ciberseguridad para proteger la información sensible de la cadena de suministro.

Abordar las consideraciones éticas relacionadas con el uso de sistemas avanzados, asegurando la transparencia en los algoritmos, la equidad en las decisiones automatizadas y la privacidad de los datos.

Fomentar la Colaboración y la Estandarización en el Ecosistema de la Cadena de Suministro

La cadena de suministro es un ecosistema interconectado. Se recomienda explorar oportunidades de colaboración con proveedores, clientes y socios tecnológicos para estandarizar procesos y compartir datos de manera segura, lo que puede potenciar aún más los beneficios de las tecnologías emergentes.

Participar en foros de la industria y redes de conocimiento para compartir las mejores prácticas y aprender de las experiencias de otras organizaciones.

Referencias

- Alonso Villafaña, P. (2014). *Análisis de la Cadena de Suministro y su relación con la logística: caso del Centro Michelin Valladolid*. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/11781/PFM-P-145.pdf>
- Alvarez Zuluaga, A. (2023). *Propuesta de implementación de algoritmos de machine learning para realizar una adecuada gestión del inventario en una pyme colombiana del sector textil y de moda*. Obtenido de Universidad EIA: <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/09793abb-ea82-415d-bb29-4c8ecccd5dff/content>
- Alzate, P. &. (2023). *Tendencias de investigación del blockchain en la cadena de suministro: transparencia, trazabilidad y seguridad*. Obtenido de Revista Universidad y Empresa: <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/12451/11611>
- Amat Rodrigo, J. (2021). *Redes neuronales con Python*. Obtenido de <https://cienciadedatos.net/documentos/py35-redes-neuronales-python>
- Arevalo Suarez, M. (2021). *Aplicación de algoritmos exactos y heurísticos al problema del viajante visible en la red logística de Amazon en Sevilla*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93808/fichero/TFG-3808+AR%C3%89VALO+SU%C3%81REZ%2C+MERCEDES.pdf>
- Benites-Yarasca Alfonso William, C.-V. N. (2021). *Optimización Del Transporte Urbano En Lima Aplicando Los Algoritmos Genéticos Tabú Y Colonia De Hormigas*. Obtenido de Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Prospective and trends in technology and skills for

sustainable social development” “Leveraging emerging technologies to construct the future”: https://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/full_papers/FP321.pdf

Bravo-Arroyave, J., Riascos-Guerrero, J., Galván-Colonia, E., & Pincay-Lozada, J. (2024).

Estrategias basadas en inteligencia artificial para la gestión de inventarios en la cadena de suministro. Obtenido de Revista Tecnología En Marcha:

https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/7271/7143

Calle García, J., Pincay Delgado, M. A., Mendoza Pionce, B., & Bravo Quijite, G. (2024). *USO*

ESTRATÉGICO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE SUM EMPRESARIAL. Obtenido de Ciencia y Desarrollo:

<http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/view/2620>

Calvo Martucci, S. (2024). *Previsión de demanda mediante técnicas de machine learning.*

Obtenido de

<https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/150787/4/sebascmTFM0624memoria.pdf>

COGOLLO FLÓREZ, J. M. (2017). *Métodos exactos y heurísticos en la solución de problemas*

de redes de transporte en las cadenas de suministros. Obtenido de Lupa empresarial:

<https://revistas.ceipa.edu.co/index.php/lupa/article/view/582/820>

COGOLLO Flórez, J., ZAPA Pérez, E., DÍEZ Aguirre , V., & LOAIZA Orrego, O. (2018).

Relación entre Kaizen y cultura laboral en sistemas productivos. Obtenido de Revista

Espacios: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n14/18391410.html>

Del Val Pardo, I. (2021). *Más allá de la industria 5.0: Realidad y deseo.* Obtenido de Encuentros

multidisciplinares:

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/702632/EM_68_11.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ferrante, E. (2021). *Inteligencia artificial y sesgos algorítmicos ¿Por qué deberían importarnos?*

Obtenido de Nueva sociedad:

<https://biblat.unam.mx/hevila/Nuevasociedad/2021/no294/3.pdf>

García Anduiza , J. (2018). *Gestión de la cadena de suministro: análisis del uso de las TIC y su*

impacto en la eficiencia. Obtenido de [https://docta.ucm.es/entities/publication/d6afdba1-](https://docta.ucm.es/entities/publication/d6afdba1-277d-4550-bbcb-f40046d5f6f9)

[277d-4550-bbcb-f40046d5f6f9](https://docta.ucm.es/entities/publication/d6afdba1-277d-4550-bbcb-f40046d5f6f9)

Gemini. (2025). “*Ciclo de la economía circular con tecnologías emergentes en la cadena de*

suministro” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA: [https://lh3.googleusercontent.com/gg-](https://lh3.googleusercontent.com/gg-dl/AJfQ9KSHcmuf_tqCGMKRKBXCPCqy_mjNikIrWWfO46VQqS8O_GtI8WUiGYAtBKrc7ZOzKqhqv1rLNZDdJX4ynG6GYLDYSu2Fchrn1fPQHr0UpkvRBDhOpef7zpEojcZnm9diYaewueUEq3TmCSqTFuw-EfGMjD_ZIML3hPS1noH8enYlJn78ng=s1024)

[dl/AJfQ9KSHcmuf_tqCGMKRKBXCPCqy_mjNikIrWWfO46VQqS8O_GtI8WUiGYAt](https://lh3.googleusercontent.com/gg-dl/AJfQ9KSHcmuf_tqCGMKRKBXCPCqy_mjNikIrWWfO46VQqS8O_GtI8WUiGYAtBKrc7ZOzKqhqv1rLNZDdJX4ynG6GYLDYSu2Fchrn1fPQHr0UpkvRBDhOpef7zpEojcZnm9diYaewueUEq3TmCSqTFuw-EfGMjD_ZIML3hPS1noH8enYlJn78ng=s1024)

[BKrc7ZOzKqhqv1rLNZDdJX4ynG6GYLDYSu2Fchrn1fPQHr0UpkvRBDhOpef7zpEoj](https://lh3.googleusercontent.com/gg-dl/AJfQ9KSHcmuf_tqCGMKRKBXCPCqy_mjNikIrWWfO46VQqS8O_GtI8WUiGYAtBKrc7ZOzKqhqv1rLNZDdJX4ynG6GYLDYSu2Fchrn1fPQHr0UpkvRBDhOpef7zpEojcZnm9diYaewueUEq3TmCSqTFuw-EfGMjD_ZIML3hPS1noH8enYlJn78ng=s1024)

[cZnm9diYaewueUEq3TmCSqTFuw-EfGMjD_ZIML3hPS1noH8enYlJn78ng=s1024](https://lh3.googleusercontent.com/gg-dl/AJfQ9KSHcmuf_tqCGMKRKBXCPCqy_mjNikIrWWfO46VQqS8O_GtI8WUiGYAtBKrc7ZOzKqhqv1rLNZDdJX4ynG6GYLDYSu2Fchrn1fPQHr0UpkvRBDhOpef7zpEojcZnm9diYaewueUEq3TmCSqTFuw-EfGMjD_ZIML3hPS1noH8enYlJn78ng=s1024)

Gemini. (2025). “*Innovación de la cadena de suministro: centros logísticos tecnológicos para*

un futuro sostenible” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Gestión inteligente de inventario y demanda por medio de Machine learning*”

[Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Integración Lean, Six sigma y Kaizen con inteligencia artificial y tecnologías*

emergentes en la cadena de suministro” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Metodología six sigma en la optimización de procesos y reducción de la*

variabilidad” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Sistema sorter automatizado*” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Sistema sorter en operación normal sin automatización*” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). “*Transformación digital en la cadena de suministro*” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Gemini. (2025). *Blockchain en la trazabilidad y seguridad de la cadena de suministro*” [Imagen]. Obtenido de Gemini IA.

Guaña-Moya, J., Roa, H., Marcillo, F., Ayavaca, L., Chiluisa, M., & Moya, B. (2022).

Tecnología Blockchain, qué es y cómo funciona. Obtenido de

https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3444/1/Tecnolog%c3%ada_Blockchain%2c_qu%c3%a9_es_.pdf

Guédez Fernández, C. (2011). *Programación lineal e Ingeniería Industrial: una aproximación al estado del arte*. Obtenido de Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias:

<https://www.redalyc.org/pdf/2150/215021914005.pdf>

Guerra Díaz, E. (2019). *El abastecimiento responsable apuesta por la Economía Circular*.

Obtenido de Ponencia presentada en el Comité ISO TC, 323: <https://ganar-ganar.mx/pdf/r85/20.pdf>

Gutierrez Duque, M., & Polo Martínez, E. (2023). *Inteligencia artificial dentro de la cadena de suministros*. Obtenido de [https://digitk.areandina.edu.co/entities/publication/7d9f95a0-](https://digitk.areandina.edu.co/entities/publication/7d9f95a0-5ced-437f-a993-530284b69133)

[5ced-437f-a993-530284b69133](https://digitk.areandina.edu.co/entities/publication/7d9f95a0-5ced-437f-a993-530284b69133)

Icarte Ahumada, G. (2016). *Aplicaciones de inteligencia artificial en procesos de cadenas*.

Obtenido de Revista chilena de ingeniería: [https://www.scielo.cl/?pid=S0718-](https://www.scielo.cl/?pid=S0718-33052016000400011&script=sci_abstract)

[33052016000400011&script=sci_abstract](https://www.scielo.cl/?pid=S0718-33052016000400011&script=sci_abstract)

Iglesias, D. F. (2023). *Uso De La Inteligencia Artificial (IA) En La Gestión De La Cadena De*

Suministro Y Logística. Obtenido de [https://burjcdigital.urjc.es/items/b748b267-5e37-](https://burjcdigital.urjc.es/items/b748b267-5e37-44e7-9c36-9aa768ef9e65)

[44e7-9c36-9aa768ef9e65](https://burjcdigital.urjc.es/items/b748b267-5e37-44e7-9c36-9aa768ef9e65)

Jimenez Cuevas, E., Avalos , O., Díaz, P., Valdivia, A., & Perez , M. (2021). *Introducción al*

machine learning con Matlab. Obtenido de Marcombo:

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=Ek1OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=P](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=Ek1OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=que+es+el+machine+learning+&ots=6EBBDt8XFh&sig=PfKyEQqsjdtea7rQ9zbN5hD9v90#v=onepage&q=que%20es%20el%20machine%20learning&f=false)

[T15&dq=que+es+el+machine+learning+&ots=6EBBDt8XFh&sig=PfKyEQqsjdtea7rQ9z](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=Ek1OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=que+es+el+machine+learning+&ots=6EBBDt8XFh&sig=PfKyEQqsjdtea7rQ9zbN5hD9v90#v=onepage&q=que%20es%20el%20machine%20learning&f=false)

[bN5hD9v90#v=onepage&q=que%20es%20el%20machine%20learning&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=Ek1OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT15&dq=que+es+el+machine+learning+&ots=6EBBDt8XFh&sig=PfKyEQqsjdtea7rQ9zbN5hD9v90#v=onepage&q=que%20es%20el%20machine%20learning&f=false)

Jofra Budet, X., & Pérez Gómez, A. (2018). *Innovaciones tecnológicas en la cadena de*

suministro aplicadas al eCommerce. Obtenido de Oikonomics Revista de Economía

Empresa y Sociedad:

[https://comein.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/09/4_Budet-](https://comein.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/09/4_Budet-Perez2_Oikonomics_9_A4_cast.pdf)

[Perez2_Oikonomics_9_A4_cast.pdf](https://comein.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/09/4_Budet-Perez2_Oikonomics_9_A4_cast.pdf)

Marin Ros, J. (2024). *La Trazabilidad como Herramienta Clave en la Gestión de Cadenas de*

Suministro Eficientes y Seguras. Obtenido de <https://dspace.umh.es/handle/11000/33206>

Martínez González, S., Pérez Rejón, J., Herrera Sánchez, B., & Gómez Ramón, R. (2023).

Estado del Arte de la Blockchain y su Aplicación a la Cadena de Suministros de las

Plataformas Petroleras en la Región de Campeche. Obtenido de Ciencia Latina Revista

Científica Multidisciplinar:

<https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6601/10071>

Mateus Amado , M. (2024). *La dualidad de la inteligencia artificial en la sostenibilidad de las cadenas de suministro*. Obtenido de European Public & Social Innovation Review.

Meneses Ramírez, C. (2020). *Evolución de la gestión de la cadena de suministro y la logística, desde una visión tecnológica y sostenible*. Obtenido de Reto,:

<https://revistas.sena.edu.co/index.php/RETO/article/view/2863/4114>

Muñoz Guevara, J., Zapata Urquijo, C., & Medina Varela, P. (2022). *Lean Manufacturing Modelos y herramientas*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/John-Munoz-Guevara/publication/359604417_Lean_Manufacturing_Modelos_y_herramientas/links/67362b6468de5e5a30772517/Lean-Manufacturing-Modelos-y-herramientas.pdf

Nivicela-Nivicela, R., & Andrade-Amoroso, R. (2025). *Influencia del IOT en la eficiencia de costos en el sector de transporte y logística*. Obtenido de

<https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/revistakoinonia/article/view/4453/7585>

Paredes-Páramo, L., Martínez-Cruz, M., Trejo-Martínez, A., Flores-Pérez, A., Figueroa-Urrea, H., & Ordoñez-Gutiérrez, R. (2025). *Análisis del Impacto Ambiental y Económico del Diseño de Envases en la Logística*. Obtenido de

<https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/6251/5532>

Pascual Sulca, E. (2021). *Lean Six Sigma. Metodología para la implementación de procesos de mejora en las organizaciones. Caso práctico empresa privada*. Obtenido de

<https://repositorio.une.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cf56bfe4-73ca-4a6e-99fc-2586799fffd9/content>

Pérez Ramírez, J., López Torres, V., Hernández Castillo, S., & Morejón Valdés, M. (2021). *Lean six sigma e industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones*. Obtenido de UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria:
<https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/584/370>

Planeación., D. N. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de
<https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos>

Porfirio Contreras , Maldonado Alcaraz, S., & Gutiérrez Rodríguez, Á. (2024). *LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SU IMPACTO EN LA GESTIÓN DE INVENTARIOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO*. Obtenido de LUMEN ET:
<https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/2039/2497>

Porrás Ortiz, J., Salas Bacalla, J., Huayanay Palma, L., Manrique Alva, R., & Sobrado Malpartida, E. (2022). *Modelo de gestión para la aplicación de herramientas Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en una empresa de confección de ropa anti flama de Lima-Perú*. Obtenido de Data Industrial :
<http://www.scielo.org.pe/pdf/idata/v25n1/1810-9993-idata-25-01-103.pdf>

Puerta Salazar, S., & Rodríguez Hübner, V. (2021). *Automatización de almacenes: nuevas tecnologías*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/475593316.pdf>

Redacción, T. (2023). *TradeLens, la plataforma Blockchain de Maersk que innova en la cadena de suministro*. Obtenido de THE LOGISTICS WORLD:
<https://thelogisticsworld.com/logistica-y-distribucion/tradelens-la-plataforma-blockchain-de-maersk-que-innova-en-la-cadena-de-suministro/>

Rodriguez Mayorga, S. (2022). *El impacto de la inteligencia artificial en la sostenibilidad de la cadena de suministro*. Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/09f98f81-c545-40fb-8d94-ca8612de344c>

Rodríguez-Guevara, E., García-Bonilla, D., & Pineda Ospina, D. (2024). *Prácticas de gestión sostenible en las cadenas de suministro*. Obtenido de Desarrollo Gerencial: <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/desarrollogerencial/article/view/6788>

Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro (1st ed.)*. Obtenido de Editorial Planeta.: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P3fSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rouhiainen,+L.+\(2018\).&ots=T_0oAGuVvn&sig=0XSkHa_c-EjrQuFufb7GfHZqpuo#v=onepage&q=Rouhiainen%2C%20L.%20\(2018\).&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=P3fSDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rouhiainen,+L.+(2018).&ots=T_0oAGuVvn&sig=0XSkHa_c-EjrQuFufb7GfHZqpuo#v=onepage&q=Rouhiainen%2C%20L.%20(2018).&f=false)

Rueda-Martínez, J. (2021). *Identificación de los beneficios de la inteligencia artificial en una*. Obtenido de <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/3012/10.Indentificacion%20beneficios%20Jose%20Santiago%20Rueda%20Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santos Hernandez , B. (2022). *Gestión del conocimiento y sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro*. Obtenido de Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8586714>

Singh Kaur, M. (2024). *Lean Management: optimización de la calidad a través de la eficiencia*. Obtenido de <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/33775/1/Trabajo%20Fin%20de%20Grado%20-%20Manprit%20Singh%20Kaur.pdf>

Sobrin, C. (2025). *Lean Manufacturing y su aplicación en la industria 4.0*. [Imagen]. Obtenido de CAPTIA.

Socconini, L., & Escobedo, E. (2021). *Lean Six Sigma Green Belt, paso a paso*. Obtenido de Marge Books. :
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=fdkZEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=Lean+Six+Sigma+Green+Belt,+paso+a+paso.+Marge+Books.&ots=Nb_3gXW7W6&sig=j7pwXAR-K5aAbE2WLzVGSgmQIgw#v=onepage&q=Lean%20Six%20Sigma%20Green%20Belt%20C%20paso%20a%20paso.%20Marge%20Boo

Teodosio, C. (2023). *Optimiza con Lean Six Sigma y Mejora Continua*. [Imagen]. Obtenido de Kaizen Institute Consulting Group.: <https://kaizen.com/es/insights-es/lean-six-sigma-mejora-continua/>

Trust, D. (2023). *Cómo Walmart logró una transparencia sin precedentes en la cadena de suministro de alimentos con Hyperledger Fabric*. Obtenido de Walmart case study: https://www-1fdecentralizedtrust-org.translate.goog/case-studies/walmart-case-study?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=Acercarse,%C2%A12%C2%20segundos

Villasmil, M. (2023). *MEJORAMIENTO CONTINUO (KAIZEN)*. [Imagen]. Obtenido de Blogspot.com: <https://gerenciaempresarialun2023.blogspot.com/2023/11/mejoramiento-continuo-kaizen.html>

Zaytsev, A. (2023). *Estudio de caso: El enfoque integral de Zara para la IA y la gestión de la cadena de suministro*. Obtenido de AIX. AIX | AI Expert Network; AIX: <https://aiexpert->

network.translate.google.com/case-study-zaras-comprehensive-approach-to-ai-and-supply-chain-management/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Zermeño Flores, F., & Cossio Franco, E. (2021). *Aplicaciones, enfoques y tendencias del Internet de las Cosas (IoT)*. Obtenido de In Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Hidalgo 2021:

<https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/543/1/Aplicaciones%20enf%20oques%20y%20tendencias%20del%20IoT.pdf>