



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Industrial

**ANÁLISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIAS
PRIMAS Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

Edi Daniel Florian Jiménez

Asesorado por MSc. Ing. José Miguel Moran Franco

Guatemala, noviembre 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIAS
PRIMAS Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDI DANIEL FLORIAN JIMÉNEZ

ASESORADO POR MSC. ING. JOSÉ MIGUEL MORAN FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Victor Hugo García Roque
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANALISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACION DEL USO DE MATERIAS
PRIMAS Y REDUCCION DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Mecánica Industrial, con fecha octubre 2023.



Edi Daniel Florian Jimenez



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

<https://postgrado.ingenieria.usac.edu.gt>

EEPFI-PP-5224-2024

Guatemala, 28 de septiembre de 2024

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado César Ernesto Urquizú Rodas

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ANÁLISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIAS PRIMAS Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis de datos - Análisis de datos**, presentado por el estudiante **Edi Daniel Florian Jiménez** carné número **201902250**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Ciencias De La Computación.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. José Miguel Morán Franco

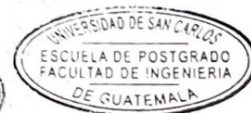
Asesor(a)

José Miguel Morán Franco

Mgr. Licenciado en Informática y
Administración de las Telecomunicaciones
Colegiado. No. 21332

Mtro. Carlos Gustavo Alonzo
Coordinador(a) de Maestría

Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



<https://bit.ly/EEP-OficinaVirtual>



solicitudEEP@ingenieria.usac.edu.gt





EEP-EIMI-5086-2024

El Director de la Escuela Ingenieria Mecanica Industrial de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ANALISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACION DEL USO DE MATERIAS PRIMAS Y REDUCCION DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**, presentado por el estudiante universitario **Edi Daniel Florian Jiménez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingenieria Mecanica Industrial

Guatemala, septiembre de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.649.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE MODELADO DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIAS PRIMAS Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS**, presentado por: **Edi Daniel Florian Jiménez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, noviembre de 2024



Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 649 CUI: 3005896030101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Edi Florian y Eugenia Jiménez, por su apoyo, guía y consejo durante toda mi fase estudiantil universitaria.

Mis hermanos

Pablo Florian y Joshua Florian, quienes fueron apoyo, y han estado presentes en cada etapa de mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de formarme como profesional.

Mis amigos

Quienes fueron apoyo fundamental durante toda mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	10
3.4. Pregunta principal	11
3.5. Preguntas auxiliares	11
3.6. Delimitación del problema.....	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	17
5.1. General	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
6.1. Arquitectura del sistema	19
6.1.1. Capa de adquisición de datos.....	19
6.1.2. Capa de almacenamiento y procesamiento.....	20

6.1.3.	Capa de análisis y modelado	20
6.1.4.	Capa de visualización y acción	20
6.2.	Flujo de trabajo del sistema.....	21
6.2.1.	Recopilación y preprocesamiento de datos.....	21
6.2.2.	Análisis en Tiempo Real y Batch	21
6.2.3.	Modelado predictivo y prescriptivo	21
6.2.4.	Toma de decisiones y acciones.....	22
6.3.	Características avanzadas	22
6.3.1.	Aprendizaje continuo	22
6.3.2.	Simulación y escenarios "What-If"	22
6.3.3.	Trazabilidad y auditoría	23
6.3.4.	Integración con la cadena de suministro	23
6.3.5.	Sostenibilidad y economía circular	23
6.4.	Implementación y adopción	23
6.4.1.	Enfoque de implementación gradual	24
6.4.2.	Programa de capacitación y gestión del cambio	24
6.4.3.	Soporte y mantenimiento continuo	24
6.4.4.	Colaboración con Stakeholders.....	24
7.	MARCO TEÓRICO	25
7.1.	Industria alimentaria y gestión de desperdicios	25
7.1.1.	Panorama actual de la industria alimentaria global	25
7.1.2.	Causas y consecuencias del desperdicio de materias primas.....	26
7.1.3.	Estrategias tradicionales de optimización y reducción de desperdicios.....	26
7.2.	Tecnologías de la industria 4.0 en la manufactura de alimentos ..	27

7.2.1.	Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de sensores en la producción alimentaria	27
7.2.2.	Big Data y análisis avanzado de datos en procesos industriales	28
7.2.3.	Inteligencia artificial y aprendizaje automático en la optimización de procesos.....	29
7.3.	Sistemas integrados de optimización basados en datos	30
7.3.1.	Arquitectura y componentes de sistemas de análisis de datos industriales	30
7.3.2.	Modelos predictivos y prescriptivos para la reducción de desperdicios	30
7.3.3.	Implementación y gestión del cambio en la adopción de sistemas basados en datos.....	31
7.4.	Sostenibilidad y economía en la industria de alimentaria	32
7.4.1.	Principios de sostenibilidad en la manufactura de alimentos	32
7.4.2.	Economía circular y valorización de residuos en la industria alimentaria.....	33
7.4.3.	Tecnologías y estrategias para la reducción del impacto ambiental.....	34
7.5.	Técnicas avanzadas de análisis en la industria alimentaria.....	35
7.5.1.	Análisis de datos masivos y modelos predictivos en la producción alimentaria	35
7.5.2.	Aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje profundo en la optimización de procesos alimentarios	36
7.5.3.	Sistemas inteligentes para la toma de decisiones en gestión de residuos.....	36

7.5.4.	Integración de datos y analítica en tiempo real para la optimización continua	37
7.6.	Implementación y gestión del cambio en proyectos	38
7.6.1.	Estrategias de implementación de soluciones basadas en datos	38
7.6.2.	Gestión del cambio organizacional en la adopción de tecnologías de análisis de datos	39
7.6.3.	Desarrollo de competencias y formación en análisis de datos para la industria alimentaria.....	40
7.6.4.	Evaluación del impacto y mejora continua de soluciones basadas en datos	40
7.6.5.	Ética y responsabilidad en el uso de datos en la industria alimentaria	41
7.7.	Tendencias futuros y desafíos en el análisis de datos.....	42
7.7.1.	Sistemas avanzados de IA y tecnologías de aprendizaje computacional.....	42
7.7.2.	Blockchain y trazabilidad avanzada	42
7.7.3.	Analítica predictiva y prescriptiva avanzada.....	43
7.7.4.	Desafíos en la integración de datos y estandarización	44
7.8.	Impacto socioeconómico y ambiental de la optimización	44
7.8.1.	Transformación del mercado laboral y desarrollo de nuevas competencias.....	44
7.8.2.	Impacto Ambiental y Contribución a la Sostenibilidad Global.....	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
9.	METODOLOGÍA	53

9.1.	Tipo del estudio.....	53
9.2.	Diseño.....	53
9.3.	Alcance	54
9.4.	Variables	54
9.5.	Fases del estudio.....	55
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	59
11.	CRONOGRAMA.....	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
12.1.	Factibilidad Operativa	63
12.2.	Factibilidad técnica	66
12.3.	Factibilidad económica	68
	REFERENCIAS	71
	APÉNDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Cronograma de investigación	61
------------------	-----------------------------------	----

TABLAS

Tabla 1.	Variables en estudio.....	55
-----------------	---------------------------	----

GLOSARIO

Algoritmos	Conjunto de instrucciones o reglas definidas y ordenadas que permite solucionar un problema, realizar un cómputo, procesar datos o llevar a cabo una tarea específica.
Análisis predictivo	Técnica que utiliza datos históricos, algoritmos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático para identificar la probabilidad de resultados futuros basados en datos históricos.
Analítica prescriptiva	Rama avanzada del análisis de datos que no solo predice resultados futuros, sino que también sugiere acciones para optimizar esos resultados y muestra las implicaciones de cada decisión.
Aprendizaje automático	Rama de la inteligencia artificial que se centra en el desarrollo de algoritmos y modelos estadísticos que permiten a los sistemas informáticos mejorar su rendimiento en una tarea específica a través de la experiencia, sin ser explícitamente programados.
Big Data	Término que describe el gran volumen de datos, tanto estructurados como no estructurados, que inundan los negocios cada día. Pero no es la cantidad de datos lo

importante, sino lo que las organizaciones hacen con los datos lo que importa.

Blockchain	Tecnología de registro distribuido que permite almacenar y transmitir información de manera transparente, segura y descentralizada, sin necesidad de intermediarios.
Cadena de suministros	Red de entidades, actividades, información y recursos involucrados en la producción y distribución de un producto desde el proveedor hasta el cliente final.
Desperdicio alimentos	Alimentos seguros y nutritivos inicialmente destinados al consumo humano que son descartados o utilizados de forma alternativa (no alimentaria) a lo largo de las cadenas de suministro alimentario.
DSS	Sistemas informáticos diseñados para ayudar en la toma de decisiones empresariales mediante el análisis de grandes volúmenes de datos y la presentación de información relevante de manera comprensible.
Economía circular	Modelo económico de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido y extender el ciclo de vida de los productos.

Eficiencia operativa	Capacidad de una organización para entregar productos o servicios a sus clientes de la manera más rentable posible, manteniendo la calidad.
Escalabilidad	Capacidad de un sistema, red o proceso para manejar una cantidad creciente de trabajo o su potencial para ser ampliado con el fin de acomodar ese crecimiento.
Gemelo digital	Representación virtual de un objeto o sistema que abarca su ciclo de vida completo, se actualiza a partir de datos en tiempo real y utiliza simulación, aprendizaje automático e inteligencia artificial para ayudar en la toma de decisiones.
Industria 4.0	Concepto que se refiere a la cuarta revolución industrial, que incorpora tecnologías emergentes como IoT, inteligencia artificial, robótica avanzada y fabricación aditiva en los procesos de producción.
Inteligencia artificial	Rama de la informática que busca crear máquinas inteligentes que puedan realizar tareas que típicamente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la resolución de problemas y el reconocimiento de patrones.
Internet de las cosas	Proceso de equipar máquinas, dispositivos o espacios con sensores capaces de recopilar datos sobre su entorno o funcionamiento. En la industria alimentaria,

puede incluir sensores de temperatura, humedad, presión, entre otros.

Interoperabilidad Capacidad de diferentes sistemas de información, dispositivos o aplicaciones para conectarse, intercambiar datos y utilizar la información intercambiada de manera eficiente y útil.

Internet de las cosas Red de objetos físicos ("cosas") que llevan integrados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet.

Manufactura alimentos Proceso de transformación de materias primas agrícolas o ganaderas en productos alimenticios listos para el consumo que incluye la preparación, procesamiento, preservación, envasado y distribución de alimentos.

Materia prima Sustancia básica que se transforma mediante un proceso de manufactura para la creación de un producto. En la industria alimentaria, pueden ser ingredientes agrícolas, ganaderos o químicos utilizados en la producción de alimentos.

Minería de datos Proceso de descubrir patrones, correlaciones, anomalías y tendencias significativas mediante el análisis de grandes conjuntos de datos utilizando

técnicas de aprendizaje automático, estadísticas y sistemas de bases de datos.

Optimización

Práctica de ajustar un proceso para maximizar un resultado específico y beneficioso con el mínimo uso de recursos.

Sostenibilidad

En el contexto de la industria alimentaria, se refiere a la capacidad de producir alimentos de manera que preserve los recursos naturales, proteja el medio ambiente, y sea económicamente viable y socialmente responsable a largo plazo.

Trazabilidad

Capacidad de seguir el movimiento de un alimento a través de las etapas especificadas de producción, procesamiento y distribución. Permite rastrear el historial, la aplicación o la localización de un producto en la cadena de suministro.

Visualización de datos

Representación gráfica de información y datos. Utiliza elementos visuales como gráficos, mapas y diagramas para proporcionar una forma accesible de ver y comprender tendencias, valores atípicos y patrones en los datos.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria actual, la optimización de los procesos de manufactura y la reducción de desperdicios son factores críticos para lograr una mayor eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad. A medida que las regulaciones ambientales se vuelven más estrictas y los costos de las materias primas continúan aumentando, las empresas de alimentos se ven obligadas a adoptar estrategias innovadoras para minimizar el desperdicio y maximizar el aprovechamiento de los recursos.

Una de las soluciones más prometedoras para abordar este desafío es el análisis de datos. El rápido avance de las tecnologías de big data, minería de datos y aprendizaje automático ha abierto nuevas oportunidades para obtener información valiosa a partir de los datos generados en los procesos de producción. Mediante la recopilación y el análisis inteligente de datos de sensores, registros de producción, información de calidad y otros flujos de datos relevantes, es posible identificar patrones, correlaciones y oportunidades de mejora que pueden conducir a una optimización significativa del uso de materias primas y a una reducción sustancial del desperdicio.

Este estudio se enfoca en el desarrollo de un modelo de análisis de datos específicamente diseñado para abordar estos desafíos en los procesos de manufactura de productos alimenticios. El objetivo principal es crear una solución integral que combine técnicas avanzadas de minería de datos, aprendizaje automático y análisis predictivo para monitorear, analizar y optimizar el uso de materias primas a lo largo de toda la cadena de producción, desde la recepción de insumos hasta el empaque final del producto terminado.

Mediante la implementación de este modelo, se espera lograr una reducción significativa del desperdicio de materias primas, lo que se traducirá en ahorros sustanciales de costos, una mayor eficiencia en el uso de recursos y un impacto ambiental positivo al disminuir la generación de residuos. Además, el modelo proporcionará información valiosa para la toma de decisiones informadas, permitiendo a las empresas identificar oportunidades de mejora continua y mantenerse a la vanguardia en un mercado cada vez más competitivo y exigente.

2. ANTECEDENTES

Choudhary et al. (2019) realizaron una investigación titulada *Minimización de desechos en la industria alimentaria mediante un marco de trabajo integrado de análisis de big data*, un estudio aplicado con un enfoque cuantitativo. La población fueron las plantas de procesamiento de alimentos de una empresa multinacional y la muestra consistió en 5 plantas piloto. Las técnicas de recolección de datos incluyeron sensores IoT y registros históricos.

El objetivo general fue desarrollar un marco de trabajo integrado de análisis de big data para minimizar los desechos de materias primas en la industria alimentaria. Los objetivos específicos fueron: identificar las principales fuentes de desperdicio, implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, aplicar técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, y desarrollar modelos predictivos.

La metodología involucraba la recopilación de datos de sensores IoT y registros históricos de producción, limpieza, mantenimiento y gestión de inventarios. Luego, se realizó un preprocesamiento y limpieza de datos. Posteriormente, se aplicaron técnicas de minería de datos como árboles de decisión, regresión y redes neuronales para identificar patrones y desarrollar modelos predictivos. Los resultados mostraron una reducción promedio del 18 % en el desperdicio de materias primas en las plantas piloto.

Este estudio es relevante para la investigación en curso, ya que propone un enfoque integral de análisis de big data para abordar el problema del desperdicio en la industria alimentaria. La combinación de técnicas de monitoreo

en tiempo real, minería de datos y modelado predictivo puede contribuir al desarrollo del modelo analítico propuesto. Además, los resultados exitosos en la reducción de desperdicios respaldan la viabilidad de esta solución.

Guzmán et al. (2019) realizaron un estudio titulado *Análisis de big data para la optimización de la cadena de suministro y reducción de desperdicios en la industria alimentaria*, un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo). La población fueron las empresas de alimentos de un país y la muestra incluyó 6 empresas líderes del sector. Se utilizaron técnicas como encuestas, entrevistas y recopilación de datos de producción y logística.

El objetivo general fue desarrollar un marco analítico basado en big data para optimizar la cadena de suministro y minimizar los desperdicios en la industria alimentaria. Los objetivos específicos incluyeron: mapear los flujos de materiales e información, identificar puntos críticos de desperdicio, analizar causas raíz, aplicar técnicas predictivas y prescriptivas, y generar recomendaciones para la mejora continua de la cadena de valor.

La metodología involucraba la recopilación de datos de producción, logística, inventarios y gestión de la cadena de suministro de las empresas participantes. También se realizaron encuestas y entrevistas con personal clave. Luego, se llevó a cabo un análisis exploratorio de datos y se aplicaron técnicas de minería de procesos, análisis de redes y modelado predictivo. Los resultados mostraron una reducción promedio del 18 % en los niveles de desperdicio y una mejora del 12 % en la eficiencia de la cadena de suministro.

Este estudio es relevante, ya que aborda la problemática del desperdicio desde una perspectiva de cadena de suministro, integrando análisis de procesos, redes y técnicas predictivas basadas en big data. El enfoque holístico, que

considera los flujos de materiales e información, puede complementar el desarrollo del modelo analítico propuesto. Además, los resultados exitosos respaldan la viabilidad de esta solución para optimizar la cadena de valor y reducir desperdicios en la industria alimentaria.

Singh et al. (2020) llevaron a cabo una investigación titulada *Aplicación de técnicas de análisis de big data para la reducción de desperdicios en plantas de procesamiento de alimentos*, un estudio de caso con un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo). La población fueron todas las plantas de procesamiento de una empresa alimentaria multinacional y la muestra incluyó 3 plantas piloto. Se utilizaron técnicas como sensores IoT, registros de producción y entrevistas.

El objetivo general fue desarrollar e implementar una solución de análisis de big data para reducir los niveles de desperdicio en plantas de procesamiento de alimentos. Los objetivos específicos incluyeron: monitorear en tiempo real las operaciones, identificar puntos críticos de desperdicio, analizar causas raíz, aplicar técnicas predictivas y prescriptivas, y generar recomendaciones para la mejora continua.

La metodología involucró la recopilación de datos de sensores IoT, registros de producción, mantenimiento e inventarios. Además, se realizaron entrevistas con personal clave. Luego, se llevó a cabo un preprocesamiento y análisis exploratorio de datos. Se aplicaron técnicas de minería de datos, análisis de causa raíz y modelado predictivo. Los resultados mostraron una reducción promedio del 22 % en los niveles de desperdicio en las plantas piloto.

Este estudio aborda de manera integral la problemática del desperdicio en plantas de procesamiento de alimentos, combinando técnicas de monitoreo en

tiempo real, análisis de causas raíz, modelado predictivo y generación de recomendaciones. El enfoque holístico y la integración de diversas técnicas analíticas pueden contribuir al desarrollo del modelo propuesto. Además, los resultados exitosos respaldan la viabilidad de esta solución.

Rebelo et al. (2021), en su artículo *Aplicación de aprendizaje automático para optimizar el uso de materias primas en la producción de alimentos procesados*, llevaron a cabo un estudio experimental con un enfoque cuantitativo. La población fueron las líneas de producción de una empresa de alimentos procesados y la muestra incluyó 3 líneas piloto. Se utilizaron sensores y sistemas de adquisición de datos.

El objetivo principal fue desarrollar un modelo de aprendizaje automático para optimizar el uso de materias primas en la producción de alimentos procesados. Los objetivos específicos fueron: monitorear en tiempo real las variables de proceso, identificar patrones de desperdicio, establecer parámetros óptimos de operación y generar recomendaciones para minimizar el uso de materias primas.

La metodología consistió en recopilar datos de sensores y sistemas de adquisición en las líneas de producción piloto. Luego, se realizó un preprocesamiento y selección de características relevantes. Se aplicaron algoritmos de aprendizaje automático supervisado, como árboles de decisión y máquinas de vectores de soporte, para entrenar modelos predictivos. Los resultados mostraron una reducción promedio del 12 % en el consumo de materias primas en las líneas piloto.

Este estudio demuestra la efectividad de las técnicas de aprendizaje automático para optimizar el uso de materias primas en la producción de

alimentos. El enfoque de monitoreo en tiempo real, identificación de patrones y generación de recomendaciones a través de modelos predictivos puede ser adaptado y integrado en el modelo analítico propuesto. Además, los resultados positivos respaldan la viabilidad de esta solución para reducir el desperdicio de materias primas.

Martínez et al. (2022), en su artículo *Optimización del uso de materias primas en la industria de productos lácteos mediante técnicas de minería de datos*, realizaron un estudio experimental con un enfoque cuantitativo. La población fueron las líneas de producción de una empresa láctea y la muestra incluyó 4 líneas piloto. Se utilizaron sensores de proceso y sistemas de control industrial.

El objetivo principal fue desarrollar un modelo de minería de datos para optimizar el uso de materias primas en la producción de productos lácteos. Los objetivos específicos fueron: monitorear variables clave de proceso, identificar patrones de consumo excesivo de materias primas, establecer parámetros óptimos de operación y generar recomendaciones para maximizar el rendimiento de las materias primas.

La metodología consistió en recopilar datos de sensores y sistemas de control en las líneas de producción piloto. Se realizó un preprocesamiento y selección de características relevantes. Se aplicaron técnicas de minería de datos como árboles de decisión, regresión y redes neuronales para desarrollar modelos predictivos. Los resultados mostraron un aumento promedio del 16 % en el rendimiento de las materias primas en las líneas piloto.

Este estudio demuestra la aplicabilidad de las técnicas de minería de datos en la optimización del uso de materias primas en la industria láctea. El enfoque

de monitoreo de variables clave, identificación de patrones, establecimiento de parámetros óptimos y generación de recomendaciones a través de modelos predictivos puede ser adaptado e integrado en el modelo analítico propuesto. Los resultados positivos respaldan la viabilidad de esta solución.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

En la industria alimentaria moderna, el desperdicio excesivo de materias primas y la ineficiencia en su aprovechamiento representan uno de los mayores desafíos operacionales y ambientales. A pesar de los avances tecnológicos y las mejores prácticas implementadas, aún se observan niveles significativos de pérdidas y desechos en diversas etapas de los procesos de manufactura de alimentos.

3.2. Descripción del problema

Desde la recepción y almacenamiento inicial de insumos, se presentan mermas considerables debido a daños, contaminación, plagas o manejo inadecuado. Durante las operaciones de procesamiento primario como el lavado, pelado, cortado y cocción, una proporción importante de materias primas se desecha debido a fallas en los equipos, configuraciones sub-óptimas o falta de control de calidad efectivo.

En las líneas de producción y envasado, los cuellos de botella, paros no planificados, problemas de sincronización y falta de mantenimiento predictivo contribuyen a generar excesivos desechos de producto en proceso y pérdidas de eficiencia. Adicionalmente, una proporción significativa de subproductos, recortes y restos orgánicos con potencial de revalorización terminan desechados.

En las etapas finales, las devoluciones, productos fuera de especificación, fechas de vencimiento cortas y una gestión deficiente de inventarios provocan un derroche importante de producto terminado. A esto se suman los volúmenes considerables de desechos sólidos y efluentes líquidos ricos en compuestos orgánicos que impactan negativamente al ambiente.

3.3. Formulación del problema

En la industria de manufactura de productos alimenticios, el desperdicio de materias primas representa un desafío crítico que impacta negativamente en la eficiencia operativa, la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental. Los procesos actuales de producción a menudo carecen de sistemas precisos para identificar, predecir y prevenir el desperdicio en tiempo real. Esta ineficiencia se traduce en pérdidas económicas significativas, un uso subóptimo de recursos naturales y una mayor huella ambiental. A pesar de la creciente disponibilidad de datos en los procesos de manufactura, muchas empresas del sector alimentario no cuentan con las herramientas analíticas necesarias para convertir estos datos en insights accionables que permitan optimizar el uso de materias primas y reducir el desperdicio de manera efectiva. La falta de un enfoque sistemático y basado en datos para abordar este problema limita la capacidad de las empresas para mejorar su competitividad y cumplir con las crecientes demandas de sostenibilidad del mercado y las regulaciones ambientales. En este contexto, surge la necesidad de desarrollar un modelo de análisis de datos que pueda integrar la información de múltiples fuentes, generar predicciones precisas y proporcionar recomendaciones en tiempo real para optimizar el uso de materias primas y minimizar el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios.

3.4. Pregunta principal

¿Cómo el desarrollo de un modelo integral de análisis de datos puede optimizar el uso de materias primas y reducir significativamente el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios, contribuyendo así a una producción más eficiente, sostenible y responsable?

3.5. Preguntas auxiliares

- ¿Qué factores (operativos, ambientales, humanos) contribuyen más significativamente al desperdicio en cada etapa del proceso?
- ¿Qué estrategias de almacenamiento y procesamiento de datos son más adecuadas para manejar la variabilidad y el volumen de datos generados en la industria alimentaria?
- ¿Qué variables y características son más predictivas del desperdicio de materias primas en diferentes procesos de manufactura de alimentos?
- ¿Qué estrategias se pueden utilizar para aislar el impacto del modelo de análisis de datos de otros factores que puedan influir en la optimización del uso de materias primas?
- ¿Qué estrategias se pueden utilizar para aislar el impacto del modelo de análisis de datos de otros factores que puedan influir en la optimización del uso de materias primas?

3.6. Delimitación del problema

Estos problemas no solo representan cuantiosas pérdidas económicas para las empresas, sino también un desaprovechamiento inadmisibles de recursos naturales como el agua y la energía empleados en exceso debido a la ineficiencia de los procesos. Además, el desperdicio de alimentos contribuye al problema global del hambre y la inseguridad alimentaria.

Por lo tanto, es imperiosa la necesidad de implementar soluciones innovadoras que permitan optimizar el uso de materias primas, minimizar los desechos y maximizar el aprovechamiento de los recursos a lo largo de toda la cadena de valor de la industria alimenticia. En este contexto, el análisis avanzado de datos emerge como una herramienta poderosa para comprender a profundidad las causas raíz de estos problemas, identificar patrones y oportunidades de mejora, y desarrollar modelos predictivos y estrategias efectivas para una producción más eficiente, sostenible y eco-amigable.

4. JUSTIFICACIÓN

El derroche de materias primas en la industria alimentaria se ha convertido en una crisis de proporciones epidémicas que amenaza con socavar los cimientos mismos de nuestra sociedad y comprometer el futuro de nuestro planeta. A medida que la población mundial continúa creciendo, la demanda de alimentos se incrementa de manera exponencial, ejerciendo una presión sin precedentes sobre los recursos naturales finitos y los ecosistemas frágiles de los cuales dependemos.

En este contexto, el desperdicio masivo de valiosas materias primas a lo largo de la cadena de valor de producción de alimentos representa una afrenta a la ética, la sostenibilidad y la justicia social. Cada grano de cereal, cada fruta, cada litro de leche o cada trozo de carne que se desperdicia es el resultado de un esfuerzo colosal en términos de agua, energía, tierra cultivable y trabajo humano, recursos que son cada vez más escasos y preciados en un mundo asediado por el cambio climático, la escasez de recursos y el crecimiento demográfico descontrolado.

Más allá de las cifras abrumadoras y las estadísticas alarmantes, el desperdicio de alimentos es un crimen contra la humanidad misma. Mientras millones de personas en todo el mundo luchan diariamente por satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, toneladas de alimentos perfectamente comestibles se desechan sin miramientos, una ironía cruel y una burla a los principios más elementales de justicia y equidad.

Pero esta crisis no solo es un desafío ético y social, sino también una amenaza existencial para nuestro planeta. La producción de alimentos es una de las principales contribuyentes al cambio climático, responsable de una porción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación, la degradación del suelo y la contaminación de los ecosistemas acuáticos. Cada tonelada de alimento desperdiciado representa una cantidad incalculable de recursos naturales agotados, un daño irreparable a nuestro entorno y un paso más hacia un futuro incierto y potencialmente catastrófico.

Frente a esta realidad inquietante, la inacción no es una opción. Es imperativo que la humanidad tome medidas audaces y decisivas para abordar esta crisis de manera integral y sostenible. El desarrollo de un modelo de análisis de datos vanguardista para optimizar el uso de materias primas y reducir el desperdicio en la manufactura de alimentos no es solo una oportunidad, sino una obligación moral y una responsabilidad ineludible.

Al aprovechar el poder transformador de las tecnologías de big data, minería de datos, aprendizaje automático y análisis predictivo, este modelo revolucionario nos brindaría la capacidad sin precedentes de comprender a profundidad los intrincados procesos de la cadena de valor alimentaria, identificando patrones ocultos, correlaciones complejas y oportunidades de optimización que hasta ahora han permanecido invisibles para nosotros.

Mediante el monitoreo en tiempo real de variables críticas, la aplicación de técnicas analíticas avanzadas y el desarrollo de modelos predictivos precisos, podremos anticipar fallas, detectar cuellos de botella, ajustar parámetros de operación y generar recomendaciones personalizadas para maximizar el rendimiento de las materias primas y minimizar los desperdicios. Más que una simple herramienta, este modelo sería un faro que guiaría a la industria

alimentaria hacia un nuevo paradigma de eficiencia, sostenibilidad y responsabilidad.

La implementación exitosa de este modelo tendría un impacto transformador que resonaría en todos los rincones del planeta. No solo permitiría a las empresas lograr ahorros significativos en costos de producción y aumentar su rentabilidad, sino que también contribuiría a preservar los recursos naturales, reducir la huella ambiental y promover una producción más sostenible y responsable. Asimismo, al optimizar el uso de materias primas, se podría aumentar la disponibilidad y accesibilidad de alimentos, abordando directamente el flagelo del hambre y la desnutrición que asola a millones de personas en todo el mundo.

Pero más allá de los beneficios tangibles, este modelo representaría un símbolo de esperanza y un testimonio de la capacidad humana para enfrentar los desafíos más apremiantes de nuestra era. Sería un monumento a la innovación, a la determinación y al compromiso inquebrantable con la construcción de un futuro más justo, más sostenible y más prometedor para todas las generaciones venideras.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Optimizar el uso de materias primas y reducir significativamente el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios, contribuyendo a una producción más eficiente, sostenible y responsable en la industria alimentaria.

5.2. Específicos

- Identificar y caracterizar las principales causas, fuentes y patrones de desperdicio de materias primas en la cadena de valor de la industria alimentaria.
- Evaluar y seleccionar las técnicas y tecnologías de análisis de datos más adecuadas para abordar la problemática del desperdicio en la manufactura de alimentos.
- Desarrollar un sistema de recolección y organización de datos que integre la información de las diferentes etapas del proceso de manufactura de alimentos.
- Crear modelos predictivos y prescriptivos capaces de anticipar y prevenir el desperdicio de materias primas, así como generar recomendaciones para la optimización de procesos.

- Validar el análisis de modelado de datos en casos de estudio reales de la industria alimentaria, evaluando su desempeño, eficacia y eficiencia en la optimización del uso de materias primas y la reducción del desperdicio.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El sistema integral de optimización y reducción de desperdicios basado en análisis de datos, es un modelo para transformar la gestión de materias primas en la industria alimentaria. Este modelo holístico combina tecnologías de vanguardia en recolección de datos, análisis avanzado y automatización inteligente para abordar de manera efectiva el desafío del desperdicio en todas las etapas de la cadena de valor de producción alimentaria.

6.1. Arquitectura del sistema

Estructura fundamental que define la organización y la interrelación de los componentes de un sistema, así como los principios y directrices que rigen su diseño y evolución.

6.1.1. Capa de adquisición de datos

- Red de sensores IoT distribuidos estratégicamente en la planta de producción.
- Sistemas de visión artificial para el monitoreo visual de procesos.
- Interfaces de integración con sistemas existentes (ERP, MES, SCADA).
- Aplicaciones móviles para la entrada manual de datos por parte del personal.

6.1.2. Capa de almacenamiento y procesamiento

- Data Lake basado en tecnologías de big data (Hadoop, Apache Spark) para el almacenamiento escalable de datos estructurados y no estructurados.
- Sistema de procesamiento en tiempo real (Apache Kafka, Apache Flink) para el manejo de flujos de datos continuos.
- Base de datos relacional para datos transaccionales y de referencia.

6.1.3. Capa de análisis y modelado

- Módulo de análisis exploratorio de datos (EDA) para la detección temprana de patrones y anomalías.
- Plataforma de machine learning para el desarrollo y despliegue de modelos predictivos y prescriptivos.
- Motor de reglas basado en conocimiento experto para la interpretación contextual de los datos.

6.1.4. Capa de visualización y acción

- Dashboards interactivos personalizados para diferentes niveles organizacionales.
- Sistema de alertas y notificaciones en tiempo real.
- Módulo de generación de informes automatizados.
- Interfaz de control para la ejecución de acciones correctivas automatizadas.

6.2. Flujo de trabajo del sistema

se refiere a la secuencia de procesos y actividades que se llevan a cabo dentro de un sistema para alcanzar un objetivo específico.

6.2.1. Recopilación y preprocesamiento de datos

- Captura continua de datos de producción, calidad, inventario y logística.
- Limpieza, normalización y validación automática de datos entrantes.
- Agregación y enriquecimiento de datos con fuentes externas relevantes (ej. precios de mercado, pronósticos climáticos).

6.2.2. Análisis en Tiempo Real y Batch

- Monitoreo continuo de KPIs de eficiencia y desperdicio.
- Detección de anomalías y desviaciones de los parámetros óptimos de proceso.
- Análisis de tendencias y patrones estacionales en el uso de materias primas.
- Identificación de correlaciones entre variables de proceso y niveles de desperdicio.

6.2.3. Modelado predictivo y prescriptivo

- Predicción de tasas de desperdicio futuras basadas en condiciones actuales y históricas.
- Optimización de parámetros de proceso para minimizar el desperdicio.
- Recomendaciones de ajustes en tiempo real para mantener la eficiencia óptima.

- Planificación predictiva de mantenimiento para prevenir fallos que generen desperdicios.

6.2.4. Toma de decisiones y acciones

- Generación de alertas tempranas sobre riesgos potenciales de desperdicio.
- Sugerecias de acciones correctivas priorizadas por impacto y factibilidad.
- Ajuste automático de parámetros de proceso dentro de rangos seguros predefinidos.
- Retroalimentación continua sobre la eficacia de las acciones tomadas.

6.3. Características avanzadas

Funcionalidades y capacidades que van más allá de las operaciones básicas, aportando un valor significativo a los usuarios y optimizando el rendimiento general.

6.3.1. Aprendizaje continuo

- Actualización automática de modelos basada en nuevos datos y resultados.
- Incorporación de feedback de expertos para mejorar las recomendaciones del sistema.

6.3.2. Simulación y escenarios "What-If"

- Herramienta de simulación para evaluar el impacto de cambios propuestos antes de su implementación.

- Análisis de escenarios para la planificación estratégica y la toma de decisiones a largo plazo.

6.3.3. Trazabilidad y auditoría

- Registro detallado de todas las decisiones y acciones tomadas por el sistema.
- Capacidad de reconstruir el razonamiento detrás de cada recomendación.

6.3.4. Integración con la cadena de suministro

- Coordinación con proveedores para optimizar la calidad y cantidad de materias primas entrantes.
- Sincronización con sistemas de gestión de inventario para minimizar el desperdicio por caducidad.

6.3.5. Sostenibilidad y economía circular

- Módulo para la identificación de oportunidades de reutilización y reciclaje de subproductos.
- Cálculo y seguimiento de métricas de sostenibilidad (huella de carbono, consumo de agua, entre otros.).

6.4. Implementación y adopción

La implementación implica la planificación, configuración y despliegue del sistema, asegurando que se integre de manera efectiva con los procesos existentes y se ajuste a las necesidades específicas de los usuarios.

6.4.1. Enfoque de implementación gradual

- Inicio con un piloto en áreas críticas de alta generación de desperdicios.
- Expansión progresiva a otras áreas y procesos basada en resultados validados.

6.4.2. Programa de capacitación y gestión del cambio

- Formación exhaustiva para operadores, supervisores y gerentes en el uso del sistema.
- Campañas de concienciación sobre la importancia de la reducción de desperdicios.

6.4.3. Soporte y mantenimiento continuo

- Equipo dedicado de científicos de datos e ingenieros de sistemas para el mantenimiento y mejora continua.
- Actualizaciones periódicas del sistema para incorporar nuevas tecnologías y metodologías.

6.4.4. Colaboración con Stakeholders

- Establecimiento de alianzas con proveedores de tecnología, instituciones académicas y organismos reguladores.
- Participación en iniciativas sectoriales para compartir mejores prácticas y estándares.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Industria alimentaria y gestión de desperdicios

La industria alimentaria juega un papel crucial en la gestión de desperdicios, ya que la producción y distribución de alimentos generan cantidades significativas de residuos que impactan tanto la economía como el medio ambiente.

7.1.1. Panorama actual de la industria alimentaria global

El sector alimentario está atravesando un periodo de transformación fundamental, impulsado por tres factores principales: las dinámicas demográficas cambiantes, los avances tecnológicos disruptivos y las crecientes preocupaciones ambientales. Un informe reciente de la FAO (2021) proyecta que la demanda global de alimentos requerirá un incremento en la producción de aproximadamente 60 % para el año 2050, lo cual representa un desafío sin precedentes para la industria.

Este incremento necesario en la producción conlleva retos significativos para el sector alimentario, particularmente en términos de eficiencia productiva y sostenibilidad operacional. Las empresas del sector se enfrentan a una presión creciente por parte de consumidores, reguladores y accionistas para adoptar prácticas más sostenibles y reducir su impacto ecológico.

La investigación de Godfray et al. (2018) revela un dato alarmante: el sector de producción de alimentos es responsable de aproximadamente una

cuarta parte (26 %) de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Esta cifra subraya la urgencia de implementar mejoras sustanciales en los procesos productivos y adoptar tecnologías que permitan optimizar el uso de recursos en toda la cadena de valor alimentaria.

7.1.2. Causas y consecuencias del desperdicio de materias primas

El desperdicio de materias primas en la industria alimentaria es un problema multifacético con implicaciones económicas, ambientales y sociales significativas. Parfitt et al. (2010) identifican varias causas principales del desperdicio, incluyendo ineficiencias en los procesos de producción, fallos en la cadena de frío, y estándares estéticos rigurosos para los productos frescos.

La magnitud de este problema se evidencia en los datos más recientes. De acuerdo con estadísticas actualizadas de la FAO (2019), la pérdida global de alimentos alcanza proporciones alarmantes: una tercera parte de la producción mundial destinada al consumo humano termina perdiéndose o desperdiciándose, alcanzando un volumen aproximado de 1.3 mil millones de toneladas anuales.

7.1.3. Estrategias tradicionales de optimización y reducción de desperdicios

Históricamente, la industria alimentaria ha empleado diversas estrategias para optimizar sus procesos y reducir el desperdicio. Según la investigación de Strotmann y colaboradores en el 2017 las principales estrategias adoptadas incluyen la integración de sistemas avanzados para el control de calidad, el desarrollo de protocolos mejorados para el manejo y almacenamiento de

productos, así como la reestructuración y optimización de los procesos logísticos en la cadena de suministro.

Una de las metodologías más utilizadas ha sido el Lean Manufacturing, adaptado de la industria automotriz. Dora et al. (2014) analizan la aplicación de los principios Lean en la industria alimentaria, destacando su potencial para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia operativa. Sin embargo, también señalan los desafíos específicos que presenta la naturaleza perecedera de los productos alimenticios.

Más recientemente, el concepto de economía circular ha ganado prominencia como una estrategia para reducir el desperdicio. Jurgilevich et al. (2016) exploran cómo los principios de la economía circular pueden aplicarse a la industria alimentaria para minimizar el desperdicio y maximizar el valor de los recursos.

7.2. Tecnologías de la industria 4.0 en la manufactura de alimentos

Las tecnologías de la Industria 4.0 están revolucionando la manufactura de alimentos al introducir una serie de innovaciones que optimizan la producción y mejoran la eficiencia en toda la cadena de suministro.

7.2.1. Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de sensores en la producción alimentaria

La transformación digital en el sector alimentario está siendo impulsada significativamente por la tecnología del Internet de las Cosas (IoT), que ha introducido nuevas capacidades para la captura instantánea de información y el seguimiento preciso de los procesos productivos. Según Bouzembrak et al.

(2019), la implementación de sensores IoT en la cadena de producción alimentaria puede mejorar significativamente la seguridad alimentaria y la eficiencia operativa.

Los sistemas de sensores avanzados permiten monitorear parámetros críticos como temperatura, humedad y composición química en tiempo real. Esto, como señalan Sharma et al. (2021), no solo ayuda a prevenir el desperdicio de alimentos, sino que también mejora la calidad del producto final y facilita el cumplimiento de regulaciones de seguridad alimentaria.

7.2.2. Big Data y análisis avanzado de datos en procesos industriales

El big data y las técnicas avanzadas de análisis de datos están transformando la forma en que se gestionan los procesos industriales en la manufactura de alimentos.

Wolfert et al. (2017) señalan que el procesamiento y análisis de datos masivos está generando oportunidades sin precedentes para desarrollar estrategias más efectivas en la optimización operacional y la planificación estratégica.

La investigación de Jagtap & Rahimifard (2019) profundiza en las aplicaciones específicas del análisis de datos masivos para la industria alimentaria. Sus hallazgos revelan que esta tecnología permite anticipar posibles fallos en equipos, establecer modelos predictivos de generación de desperdicios y crear estrategias proactivas para la utilización óptima de materias primas. Los autores enfatizan que estos avances no solo incrementan la productividad

operacional, sino que además fortalecen las iniciativas de sostenibilidad en el sector alimentario.

7.2.3. Inteligencia artificial y aprendizaje automático en la optimización de procesos

En el panorama actual de la manufactura de alimentos, las tecnologías de “Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Automático (ML)” se han convertido en instrumentos fundamentales que están transformando los métodos tradicionales de optimización de procesos productivos. Liakos et al. (2018) revisan diversas aplicaciones de ML en agricultura y producción de alimentos, destacando su potencial para tener eficacia y disminuir el desperdicio.

En particular, los modelos predictivos basados en IA pueden ayudar a anticipar fluctuaciones en la demanda, optimizar inventarios y predecir la vida útil de los productos. Soltan & Pooya (2018) su investigación evidencia que la implementación de estos modelos analíticos resulta en una disminución considerable de las pérdidas alimentarias a lo largo de toda la cadena de suministro.

Además, la IA puede facilitar la automatización inteligente de procesos. Duan et al. (2019) exploran cómo los sistemas de control basados en IA pueden optimizar en tiempo real los parámetros de producción, reduciendo así el desperdicio y mejorando la calidad del producto.

7.3. Sistemas integrados de optimización basados en datos

Los sistemas están revolucionando la manufactura de alimentos al introducir soluciones innovadoras que optimizan procesos y mejoran la eficiencia operativa.

7.3.1. Arquitectura y componentes de sistemas de análisis de datos industriales

Los sistemas integrados de optimización basados en datos requieren una arquitectura robusta y flexible para manejar la complejidad de los procesos industriales. Según Qi & Tao (2018), una arquitectura efectiva para estos sistemas debe incluir componentes para la adquisición de datos, almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización.

Lee et al. (2015) proponen un marco de 5C para la implementación de sistemas ciberfísicos en entornos industriales, que incluye: Conexión (adquisición de datos), Conversión (análisis de datos), Ciber (gemelo digital), Cognición (soporte a la decisión), y Configuración (retroalimentación y control). Esta estructura de trabajo establece los fundamentos metodológicos esenciales para el desarrollo e implementación de sistemas de optimización integrados.

7.3.2. Modelos predictivos y prescriptivos para la reducción de desperdicios

Los modelos predictivos y prescriptivos son fundamentales para la reducción proactiva de desperdicios en la industria alimentaria. Tsakanikas et al. (2020) evidencian que la implementación de algoritmos de aprendizaje automático permite realizar estimaciones precisas sobre la durabilidad de

productos alimenticios, lo que facilita una administración optimizada de inventarios y consecuentemente reduce los niveles de desperdicio.

Por otro lado, Mujica et al. (2019) analizan la implementación de sistemas prescriptivos fundamentados en técnicas de optimización, con el objetivo de perfeccionar la planificación productiva y el manejo logístico en el sector alimentario. La relevancia de estos sistemas radica no solo en su capacidad de anticipar escenarios futuros, sino también en su habilidad para generar recomendaciones específicas que conducen a la reducción del desperdicio y al incremento de la eficiencia operacional.

7.3.3. Implementación y gestión del cambio en la adopción de sistemas basados en datos

La implementación exitosa de sistemas integrados de optimización basados en datos requiere no solo de tecnología avanzada, sino también de una gestión efectiva del cambio organizacional. Kamble et al. (2020) determinan los elementos clave que aseguran una implementación exitosa de las tecnologías de Industria 4.0 en la cadena de suministro alimentaria. Sus hallazgos enfatizan dos aspectos fundamentales: el respaldo activo del equipo directivo y el desarrollo continuo de las competencias del personal operativo.

Jayaraman et al. (2021) destacan la importancia de desarrollar una estrategia integral que incorpore tanto consideraciones tecnológicas como factores relacionados con el capital humano y organizacionales en la adopción de tecnologías digitales en la industria alimentaria. Proponen un marco de implementación que incluye la evaluación de la preparación organizacional, la planificación estratégica y la gestión continua del cambio.

7.4. Sostenibilidad y economía en la industria de alimentaria

La sostenibilidad y la economía están relacionadas, ya que la adopción de prácticas sostenibles no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también puede mejorar la viabilidad económica de las empresas.

7.4.1. Principios de sostenibilidad en la manufactura de alimentos

La sostenibilidad ha adquirido una importancia fundamental en la industria alimentaria. Esto se debe a la creciente presión sobre los recursos naturales, así como a la urgente necesidad de mitigar el impacto ambiental que genera la producción de alimentos. Notarnicola et al. (2017) enfatizan que la implementación de prácticas sostenibles en la manufactura de alimentos debe abordar múltiples dimensiones, incluyendo el uso eficiente de recursos, la minimización de residuos y emisiones, y la consideración de aspectos sociales y económicos.

Un elemento fundamental en la búsqueda de la sostenibilidad alimentaria es la adopción de una perspectiva integral de ciclo de vida. Esto supone evaluar y optimizar el impacto ambiental de cada producto alimenticio a lo largo de todo su ciclo, desde la producción de las materias primas hasta el consumo final y la disposición de los residuos.

Al analizar y gestionar los efectos medioambientales en cada etapa de la cadena de valor, las empresas pueden implementar medidas más efectivas para reducir la huella ecológica de sus operaciones. Los estudios académicos, como el realizado por Sala et al. (2017), han ahondado en la aplicación del *Análisis de Ciclo de Vida* (ACV) dentro de la industria alimentaria. Estas investigaciones han

resaltado la importancia crucial del ACV para identificar los puntos neurálgicos de mayor impacto ambiental. Dicha información es vital para que las empresas puedan detectar oportunidades concretas de mejora y optimización que les permitan minimizar su huella ecológica.

Asimismo, la adopción de sistemas de gestión ambiental, como la norma ISO 14001, se ha vuelto progresivamente más habitual en la industria alimentaria. Djekic et al. (2014) analizan cómo estos sistemas pueden mejorar el desempeño ambiental de las empresas alimentarias, promoviendo una cultura de mejora continua y cumplimiento normativo.

7.4.2. Economía circular y valorización de residuos en la industria alimentaria

La transición hacia una economía circular en la industria alimentaria implica un cambio paradigmático fundamental en la forma de concebir los procesos de producción y consumo de alimentos. Mirabella et al. (2014) exploran en profundidad las oportunidades para la valorización de subproductos y residuos en la industria alimentaria. Los autores presentan una variedad de casos de estudio que demuestran cómo los residuos de un proceso pueden convertirse en valiosos insumos para otros, creando ciclos cerrados de materiales y nutrientes.

Complementando este enfoque, Jurgilevich et al. (2016) analizan los obstáculos y facilitadores para adoptar los principios de economía circular en el ciclo alimentario. Los autores discuten estrategias como el diseño para la circularidad, la simbiosis industrial, y la creación de nuevos modelos de negocio basados en la valorización de residuos.

Un aspecto crucial de la economía circular en la industria alimentaria es la bioeconomía. Morone (2019) explora cómo la bioeconomía puede integrarse con los principios de economía circular para crear sistemas alimentarios más sostenibles. El autor discute el potencial de las biorrefinerías para convertir residuos agrícolas y alimentarios en una variedad de productos de valor agregado, desde biocombustibles hasta productos químicos especializados.

7.4.3. Tecnologías y estrategias para la reducción del impacto ambiental

La reducción del impacto ambiental en la manufactura de alimentos requiere la adopción de tecnologías innovadoras y estrategias de gestión avanzadas. Guillén et al. (2019) proporcionan una revisión exhaustiva de las tecnologías emergentes y enfoques para mejorar la sostenibilidad en la industria alimentaria. Los autores discuten en detalle la aplicación de técnicas como la simbiosis industrial y la optimización de procesos basada en análisis de ciclo de vida.

Profundizando en tecnologías específicas, Perea et al. (2018) analizan el potencial de las energías renovables en la industria alimentaria. Los autores exploran cómo la integración de sistemas de energía solar, eólica y biomasa puede reducir significativamente la huella de carbono de la producción de alimentos, presentando casos de estudio de implementaciones exitosas en diferentes subsectores de la industria.

Otro aspecto crucial es la eficiencia en el uso del agua. Klemeš et al. (2018) presentan una revisión exhaustiva de las tecnologías y estrategias para la optimización del uso del agua en la industria alimentaria. Los autores discuten desde técnicas de reutilización y reciclaje de agua hasta tecnologías avanzadas

de tratamiento que permiten reducir significativamente el consumo de agua fresca en los procesos de producción.

7.5. Técnicas avanzadas de análisis en la industria alimentaria

Las técnicas avanzadas de análisis en la industria alimentaria están transformando la forma en que se evalúan y gestionan la calidad y seguridad de los productos.

7.5.1. Análisis de datos masivos y modelos predictivos en la producción alimentaria

La transformación del sector alimentario se está acelerando gracias a la implementación de tecnologías de análisis masivo de datos y sistemas predictivos, que están revolucionando los procesos de toma de decisiones estratégicas y operativas. La investigación de Wolfert et al. (2017) revela que estas herramientas tecnológicas tienen múltiples aplicaciones: desde perfeccionar los procesos logísticos hasta anticipar aspectos críticos como la durabilidad y calidad de los productos. Sus hallazgos demuestran que el procesamiento sistemático de grandes volúmenes de información permite descubrir correlaciones y tendencias previamente inadvertidas, lo que resulta en mejoras significativas en la eficiencia operacional y en una notable disminución de pérdidas productivas.

Tsakanikas et al. (2020) desarrollan una investigación exhaustiva sobre la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático orientados a estimar la durabilidad de productos alimenticios. Su estudio demuestra cómo los modelos predictivos pueden mejorar significativamente la gestión del inventario y reducir el desperdicio de alimentos perecederos.

7.5.2. Aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje profundo en la optimización de procesos alimentarios

Los avances en Inteligencia Artificial (IA) y aprendizaje profundo se han convertido en elementos fundamentales para revolucionar y perfeccionar los procesos productivos del sector alimentario. Rehman et al. (2019) presentan una revisión exhaustiva de las aplicaciones de la IA en la producción y procesamiento de alimentos. Los autores discuten cómo estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia energética, la calidad del producto y la seguridad alimentaria.

Por su parte, Kakani et al. (2020) exploran el uso de redes neuronales profundas para la detección temprana de defectos en productos alimenticios. El análisis realizado en su investigación confirma que la aplicación de estas herramientas tecnológicas logra minimizar el desperdicio mediante la identificación preventiva y corrección de desviaciones en los parámetros de calidad durante las etapas iniciales de manufactura.

7.5.3. Sistemas inteligentes para la toma de decisiones en gestión de residuos

Los sistemas inteligentes para toma de decisiones basados en datos están jugando un papel crucial en la gestión eficiente de recursos y la reducción de desperdicios en la industria alimentaria. Jagtap et al. (2019) presentan un marco para el desarrollo en tiempo real para la optimización de procesos alimentarios. Su estudio demuestra cómo estos sistemas pueden integrar datos de múltiples fuentes para proporcionar recomendaciones accionables que reduzcan el desperdicio y mejoren la eficiencia operativa.

Complementando este enfoque, Mishra & Singh (2018) analizan el uso de métodos de minería de datos para mejorar la calidad y reducir los desperdicios en la industria alimentaria. Los autores discuten cómo la combinación de diferentes técnicas analíticas puede proporcionar insights valiosos para la toma de decisiones más certeras y eficientes.

7.5.4. Integración de datos y analítica en tiempo real para la optimización continua

La integración de información provenientes de varias fuentes y la capacidad de realizar análisis en tiempo real se han convertido en elementos críticos para la optimización continua en la industria alimentaria. Onu & Khorram (2017) exploran cómo la fusión de datos de sensores, sistemas de control de procesos y fuentes externas puede proporcionar una mejor visión de las operaciones de manufactura. Los autores presentan un marco para la integración de datos heterogéneos y su aplicación en la detección temprana de anomalías y la optimización de procesos.

Por otro lado, Bouzembrak et al. (2019) examina la implementación de dispositivos conectados mediante Internet de las Cosas (IoT) como herramienta para la captura y procesamiento instantáneo de información a lo largo de la cadena logística alimentaria. Su investigación demuestra cómo la analítica en tiempo real puede mejorar la trazabilidad, la seguridad alimentaria y la eficiencia operativa, permitiendo respuestas rápidas a desviaciones en los procesos y cambios en las condiciones de producción.

Además, Verboven et al. (2020) abordan el concepto de "gemelos digitales" en la industria alimentaria. Los autores discuten cómo estos modelos virtuales en tiempo real de los procesos de producción pueden facilitar la

simulación, predicción y optimización continua, permitiendo ajustes proactivos que minimizan el desperdicio y maximizan la eficiencia.

La integración de datos y la analítica en tiempo real no solo permiten una optimización más precisa y oportuna, sino que también facilitan la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y control de calidad proactivo. Esto resulta en una reducción significativa de tiempos de inactividad no planificados y en la mejora de la consistencia del producto, factores que contribuyen directamente a la reducción de desperdicios y al uso más eficiente de las materias primas.

7.6. Implementación y gestión del cambio en proyectos

Son procesos críticos que determinan el éxito de cualquier iniciativa dentro de una organización. La implementación implica poner en práctica las estrategias y soluciones planificadas, asegurando que todos los recursos, desde el personal hasta la tecnología, estén alineados y preparados para la transición.

7.6.1. Estrategias de implementación de soluciones basadas en datos

La implementación exitosa de soluciones basadas en datos en la industria alimentaria requiere un enfoque estratégico y bien planificado. Según Buer et al. (2018), la integración de soluciones tecnológicas de Industria 4.0 en empresas alimentarias requiere una perspectiva multidimensional que va más allá de las consideraciones puramente técnicas, abarcando dimensiones organizativas y factores humanos. En su investigación, presentan una estructura metodológica que comprende tres elementos fundamentales: primero, una evaluación exhaustiva del nivel de desarrollo tecnológico de la organización; segundo, la

vinculación directa con las metas corporativas; y tercero, el desarrollo de un plan estratégico detallado que guíe el proceso de transformación digital.

Por su parte, Kamble et al. (2020) los componentes determinantes que garantizan el éxito en la integración de tecnologías de análisis masivo de datos en la logística alimentaria. Los resultados de su investigación identifican tres pilares fundamentales: una base tecnológica robusta, el respaldo activo del equipo directivo y la sinergia efectiva entre las diferentes áreas operativas de la organización.

7.6.2. Gestión del cambio organizacional en la adopción de tecnologías de análisis de datos

La adopción de tecnologías avanzadas de análisis de datos implica un cambio significativo en la cultura y los procesos organizacionales. Lööf & Stål (2021) exploran los desafíos específicos de la gestión del cambio en la industria alimentaria durante la transformación digital. Los autores enfatizan la necesidad de un enfoque centrado en las personas, que incluya la comunicación efectiva y la capacitación continua.

Complementando este enfoque, Barratt et al. (2019) analizan cómo la cultura organizacional influye en la implementación de plataformas de procesamiento de datos a gran escala en el ámbito industrial. Su investigación proporciona insights valiosos sobre cómo cultivar un modelo de gestión que prioriza el análisis de información para la toma de decisiones y fomentar la innovación en empresas tradicionalmente conservadoras.

7.6.3. Desarrollo de competencias y formación en análisis de datos para la industria alimentaria

La implementación exitosa de iniciativas de digitalización está estrechamente vinculada con la habilidad institucional para formar y conservar profesionales especializados en el campo del análisis de información. Devaraj et al. (2020) investigan las competencias clave requeridas para la implementación efectiva de soluciones de Industria 4.0 en el sector alimentario. Los autores proponen un marco de competencias que abarca la resolución de problemas.

Además, Ferraris et al. (2019) exploran cómo las organizaciones pueden desarrollar capacidades dinámicas en big data y analítica. Su estudio destaca la importancia de la formación continua, la colaboración con instituciones académicas y la creación de equipos multidisciplinarios para fomentar la innovación basada en datos.

7.6.4. Evaluación del impacto y mejora continua de soluciones basadas en datos

La implementación de soluciones basadas en datos no es un proceso estático, sino que requiere una evaluación continua y ajustes para maximizar su impacto. Bronson & Knezevic (2021) desarrollan una investigación sistemática sobre las metodologías de medición del efecto que tienen las herramientas digitales en el rendimiento y la sostenibilidad del sector alimentario. Los autores proponen un marco de evaluación que considera aspectos económicos, ambientales y sociales, enfatizando la importancia de una perspectiva holística.

Por último, Atzori et al. (2020) exploran el concepto de mejora continua en el contexto de la Industria 4.0 y la analítica de datos. Su investigación destaca la

importancia de establecer ciclos de retroalimentación y aprendizaje organizacional para asegurar que las soluciones basadas en datos evolucionen y se adapten a las cambiantes necesidades del negocio.

7.6.5. Ética y responsabilidad en el uso de datos en la industria alimentaria

La creciente dependencia de los datos y la analítica avanzada en la industria alimentaria plantea importantes cuestiones éticas y de responsabilidad que deben ser abordadas. Según Bronson (2019), el uso de big data y algoritmos en la producción y distribución de alimentos puede tener impactos significativos en la equidad, la privacidad y la seguridad alimentaria. La autora examina cómo las decisiones basadas en datos pueden afectar a diferentes actores en la cadena de valor alimentaria y subraya la necesidad de un marco ético robusto para guiar estas prácticas.

Por otro lado, Wiseman et al. (2019) abordan los desafíos legales y éticos relacionados con la propiedad y el intercambio de datos en la agricultura y la industria alimentaria. Su investigación destaca la importancia de establecer políticas claras sobre la recopilación, uso y compartición de datos.

La transparencia en el uso de algoritmos y modelos de inteligencia artificial es otro aspecto crucial. Mittelstadt et al. (2016) establecen un marco de referencia ético para orientar tanto el desarrollo como la incorporación de tecnologías de IA en sectores estratégicos, particularmente en la industria de producción de alimentos. Los autores proponen un marco para la "IA explicable" que permita a los usuarios comprender y cuestionar las decisiones tomadas por sistemas automatizados.

7.7. Tendencias futuros y desafíos en el análisis de datos

se caracterizan por un crecimiento exponencial en la generación y disponibilidad de datos, lo que plantea tanto oportunidades como complejidades para las organizaciones.

7.7.1. Sistemas avanzados de IA y tecnologías de aprendizaje computacional

La evolución de la “Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (ML)” promete revolucionar aún más la industria alimentaria. Kakani et al. (2020) exploran cómo las técnicas de aprendizaje profundo y los sistemas de IA más sofisticados pueden mejorar la predicción de la demanda, la optimización de recetas y la personalización de productos alimenticios. Los autores destacan el potencial de estas tecnologías para crear sistemas de producción más adaptativos y resilientes.

Tian et al. (2022) discuten las aplicaciones emergentes de la IA en la seguridad alimentaria, incluyendo la detección temprana de contaminantes y la predicción de riesgos en la cadena de suministro. Su investigación subraya la importancia de desarrollar modelos de IA interpretables y confiables para aplicaciones críticas en la industria alimentaria.

7.7.2. Blockchain y trazabilidad avanzada

La tecnología blockchain está emergiendo como una solución prometedora para mejorar la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministro alimentaria. Feng et al. (2020) analizan cómo la integración de blockchain con otras tecnologías como IoT y big data puede crear sistemas de

trazabilidad más robustos y confiables. Los autores discuten los desafíos de implementación y las potenciales aplicaciones en la industria alimentaria.

Behnke & Janssen (2020) exploran el concepto de "gemelos digitales" basados en blockchain para la gestión de la cadena de suministro alimentaria. Su investigación destaca cómo estas tecnologías pueden facilitar una visibilidad end-to-end de los procesos, mejorando la eficiencia y reduciendo el desperdicio.

7.7.3. Analítica predictiva y prescriptiva avanzada

La incorporación de técnicas avanzadas de análisis predictivo y prescriptivo está transformando significativamente los métodos de optimización operacional y los procesos decisionales en el sector de manufactura alimentaria. Lakhani et al. (2021) exploran cómo los modelos predictivos más sofisticados, combinados con técnicas de optimización avanzadas, facilitan la programación eficiente de la producción, el control óptimo de inventarios y la minimización sistemática de pérdidas operativas. Los autores discuten el potencial de estas técnicas para crear sistemas de producción más ágiles y eficientes.

Complementando este enfoque, Rodríguez y García (2020) analizan el uso de técnicas de analítica prescriptiva para la innovación de productos en la industria alimentaria. Su investigación destaca cómo estas herramientas pueden ayudar a las empresas a desarrollar nuevos productos que satisfagan las demandas cambiantes del mercado y cumplan con los objetivos de sostenibilidad.

7.7.4. Desafíos en la integración de datos y estandarización

A medida que la industria alimentaria se vuelve más digitalmente integrada, surgen desafíos significativos en la integración y estandarización de datos. Wolfert et al. (2017) examinan las complejidades inherentes al desarrollo de arquitecturas de datos integradas y compatibles para los sectores agrícola y alimentario. Los autores destacan la necesidad de desarrollar estándares comunes y protocolos de intercambio de datos para facilitar la colaboración y la innovación en toda la cadena de valor.

Por su parte, Gupta et al. (2021) abordan los desafíos técnicos y organizacionales de implementar sistemas de integración de datos a gran escala en la industria alimentaria. Su investigación propone estrategias para superar las barreras de silos de datos y fomentar una cultura de compartición de datos entre diferentes actores del sector.

7.8. Impacto socioeconómico y ambiental de la optimización

Busca mejorar la eficiencia de procesos mientras se consideran las repercusiones en la sociedad y el medio ambiente.

7.8.1. Transformación del mercado laboral y desarrollo de nuevas competencias

La implementación de soluciones avanzadas de análisis de datos en la industria alimentaria está provocando una transformación significativa en el mercado laboral del sector. Según un estudio realizado por Devaraj et al. (2020), la integración de sistemas característicos de la cuarta revolución industrial, incluyendo el big data y la inteligencia artificial, está creando una demanda

creciente de trabajadores con habilidades digitales y analíticas. Los autores señalan que este cambio no solo afecta a los roles técnicos, sino que también está redefiniendo las competencias requeridas en posiciones de gestión y operativas.

La transición hacia una industria alimentaria más digitalizada plantea desafíos importantes en términos de formación y desarrollo de la fuerza laboral existente. Charlebois (2020) analiza cómo esta transformación está afectando a los trabajadores de la industria alimentaria en diferentes niveles. El autor destaca la necesidad de programas de capacitación y formación continua para evitar la obsolescencia de habilidades y garantizar que los trabajadores puedan adaptarse a los nuevos entornos tecnológicos.

Por otro lado, la optimización basada en datos también está creando nuevas oportunidades de empleo. Bronson & Knezevic (2019) exploran cómo la creciente importancia de los datos en la industria alimentaria está dando lugar a nuevos roles especializados, como científicos de datos agrícolas, analistas de cadena de suministro alimentaria y especialistas en sostenibilidad basada en datos. Los autores argumentan que estas nuevas profesiones pueden contribuir a revitalizar las economías rurales y crear vías de desarrollo profesional más diversas en el sector alimentario.

Sin embargo, esta transformación también plantea preocupaciones sobre la posible pérdida de empleos debido a la automatización. Biselli et al. (2021) analizan el impacto potencial de la automatización y la inteligencia artificial en el empleo en la industria alimentaria. Su investigación sugiere que, si bien algunos trabajos de baja cualificación pueden estar en riesgo, la transformación impulsada por el análisis de información no solo genera nuevos roles profesionales, sino que también eleva la calidad del trabajo existente al permitir

que el personal se enfoque en tareas de mayor valor agregado, delegando las actividades rutinarias y de alto riesgo a sistemas automatizados.

La equidad y la inclusión en esta transformación digital son aspectos cruciales. Fraser (2021) examina cómo la brecha digital puede exacerbar las desigualdades existentes en el sector alimentario. El autor argumenta que es esencial implementar políticas y programas que garanticen un acceso equitativo a la formación en habilidades digitales y analíticas, especialmente para los trabajadores en comunidades rurales y marginadas.

7.8.2. Impacto Ambiental y Contribución a la Sostenibilidad Global

La transformación de la industria alimentaria mediante sistemas analíticos avanzados está generando un impacto positivo en la preservación ambiental y en la lucha contra el cambio climático. Según un estudio exhaustivo realizado por Irani et al. (2018), la aplicación de técnicas avanzadas de análisis de datos puede conducir a una reducción sustancial en el desperdicio de alimentos, el aprovechamiento eficiente de insumos y la disminución de emisiones contaminantes a lo largo de toda la cadena productiva alimentaria.

Uno de los impactos más directos de la optimización basada en datos es la reducción del desperdicio de alimentos. Parfitt et al. (2021) analizan cómo los sistemas predictivos basados en big data pueden mejorar el aprovechamiento eficiente de insumos y la disminución de emisiones contaminantes a lo largo de toda la cadena productiva alimentaria, reduciendo significativamente el desperdicio en las etapas de procesamiento y distribución. Los autores estiman que una reducción del 50 % en el desperdicio de alimentos podría resultar en una

disminución del 10-14 % en la huella de carbono generada por las operaciones del sector de manufactura de alimentos.

La reestructuración sistemática de los ciclos productivos también puede llevar a un uso más eficiente de los recursos naturales. Kamilaris et al. (2019) exploran cómo las técnicas de agricultura de precisión basadas en datos pueden reducir significativamente el uso de agua, fertilizantes y pesticidas. Su investigación demuestra que estas prácticas no solo disminuyen el impacto ambiental, sino que también logran incrementar tanto los parámetros cualitativos como los índices de productividad en la actividad agrícola.

En el ámbito de la logística y el transporte de alimentos, la analítica avanzada está permitiendo optimizar las rutas de distribución y mejorar la eficiencia energética. Soysal et al. (2018) presentan un estudio de caso que muestra cómo la optimización basada en datos de las redes de distribución de alimentos puede reducir las emisiones de CO₂ en hasta un 30 %, al mismo tiempo que mejora la frescura de los productos entregados.

La trazabilidad mejorada a través de tecnologías como blockchain y IoT también está contribuyendo a la sostenibilidad. Yadav et al. (2020) discuten cómo estos sistemas pueden facilitar la certificación de prácticas sostenibles y el cumplimiento de estándares ambientales en toda la cadena de suministro alimentaria. Los autores argumentan que esta mayor transparencia puede incentivar prácticas más sostenibles y facilitar que los usuarios finales realicen selecciones de productos con mayor conciencia sobre su impacto ecológico.

Sin embargo, es importante considerar también el impacto ambiental de las propias tecnologías digitales. Freitag et al. (2021) analizan la huella de carbono asociada con la infraestructura de TI necesaria para implementar

soluciones de big data y AI en la industria alimentaria. Los autores sugieren estrategias para minimizar este impacto, como el uso de energías renovables en centros de datos y la optimización de algoritmos para reducir el consumo de energía.

A nivel global Sachs et al. (2021) argumentan que la transformación digital del sector alimentario es crucial para alcanzar estos objetivos y sugieren políticas para fomentar la adopción de tecnologías sostenibles basadas en datos en la industria alimentaria global.

En conclusión, mientras que la optimización basada en datos ofrece un potencial significativo para mejorar la sostenibilidad ambiental de la industria alimentaria, es crucial adoptar un enfoque holístico que considere tanto los beneficios como los posibles impactos negativos de estas tecnologías. La colaboración entre la industria, los gobiernos y la comunidad científica será esencial para maximizar los beneficios ambientales de la transformación digital en el sector alimentario.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO DE REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Industria Alimentaria y Gestión de Desperdicios

2.1.1 Panorama actual de la industria alimentaria global

2.1.2 Causas y consecuencias del desperdicio de materias primas

2.1.3 Estrategias tradicionales de optimización y reducción de desperdicios

2.2 Tecnologías de la Industria 4.0 en la Manufactura de Alimentos

2.2.1 Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de sensores en la producción alimentaria

2.2.2 Big Data y análisis avanzado de datos en procesos industriales

2.2.3 Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático en la optimización de procesos

2.3 Sistemas Integrados de Optimización basados en Datos

2.3.1 Arquitectura y componentes de sistemas de análisis de datos industriales

2.3.2 Modelos predictivos y prescriptivos para la reducción de desperdicios

2.3.3 Implementación y gestión del cambio en la adopción de sistemas basados en datos

2.4 Sostenibilidad y Economía Circular en la Industria de Alimentaria

2.4.1 Principios de sostenibilidad en la manufactura de alimentos

2.4.2 Economía circular y valorización de residuos en la industria alimentaria

2.4.3 Tecnologías y estrategias para la reducción del impacto ambiental

2.5 Técnicas Avanzadas de Análisis de Datos en la Industria Alimentaria

2.5.1 Análisis de datos masivos y modelos predictivos en la producción alimentaria

2.5.2 Aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje profundo en la optimización de procesos alimentarios

2.5.3 Sistemas inteligentes para la toma de decisiones en gestión de residuos

2.5.4 Integración de datos y analítica en tiempo real para la optimización continua

2.6 Implementación y Gestión del Cambio en Proyectos de Transformación Digital en la Industria Alimentaria

2.6.1 Estrategias de implementación de soluciones basadas en datos

2.6.2 Gestión del cambio organizacional en la adopción de tecnologías de análisis de datos

2.6.3 Desarrollo de competencias y formación en análisis de datos para la industria alimentaria

2.6.4 Evaluación del impacto y mejora continua de soluciones basadas en datos

2.6.5 Ética y responsabilidad en el uso de datos en la industria alimentaria

2.7 Tendencias Futuras y Desafíos Emergentes en el Análisis de Datos para la Industria Alimentaria

2.7.1 Sistemas avanzados de IA y tecnologías de aprendizaje computacional

2.7.2. Blockchain y Trazabilidad Avanzada

2.7.3. Analítica Predictiva y Prescriptiva Avanzada

2.7.4. Desafíos en la Integración de Datos y Estandarización

2.8 Impacto Socioeconómico y Ambiental de la Optimización basada en Datos en la Industria Alimentaria

2.8.1 Transformación del Mercado Laboral y Desarrollo de Nuevas Competencias

2.8.2 Impacto Ambiental y Contribución a la Sostenibilidad Global

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo del estudio

El enfoque del estudio propuesto es mixto, ya que combina aspectos cuantitativos (análisis de datos numéricos sobre desperdicios y eficiencia) y cualitativos (interpretación de patrones y toma de decisiones basada en insights).

El alcance es descriptivo y explicativo, dado que busca no solo describir los patrones de desperdicio en la industria alimentaria, sino también explicar las causas subyacentes y proponer soluciones basadas en el análisis de datos.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información sobre el uso de materias primas y generación de desperdicios se analizará en su estado original sin manipulación; además será longitudinal de tendencia, pues se analizará la evolución de los patrones de desperdicio y la eficiencia en el uso de materias primas a lo largo del tiempo en diferentes empresas del sector alimentario.

9.2. Diseño

La población en estudio serán las empresas de manufactura de la industria alimentaria en Guatemala, la cual se encuentra dividida en subpoblaciones dadas por los diferentes subsectores (lácteos, cárnicos, procesados, entre otros.), de la cual se extraerán muestras de forma estratificada, que serán estudiadas en su totalidad.

9.3. Alcance

El proyecto abarca un análisis integral de los procesos de manufactura de alimentos, incluyendo al integrar de un sistema avanzado para recolectar datos mediante sensores IoT y la integración con sistemas existentes. Se desarrollarán modelos analíticos predictivos y de optimización, junto con un sistema de soporte a decisiones que incluirá dashboards interactivos y alertas en tiempo real. El proyecto se enfocará en la optimización de procesos mediante el ajuste automático de parámetros de producción basado en insights de datos. Se realizará una implementación piloto en una línea de producción seleccionada para validar y medir el impacto en la reducción de desperdicios y mejora de eficiencia. El alcance también incluye programas de capacitación y gestión del cambio para asegurar la adopción efectiva del nuevo sistema. Finalmente, se diseñará un plan de escalabilidad para expandir el sistema a otras líneas de producción y se establecerán procesos de mejora continua para el refinamiento de los modelos a lo largo del tiempo. Este enfoque integral busca transformar la gestión de materias primas y la eficiencia en la manufactura de productos alimenticios a través del uso avanzado de análisis de datos.

9.4. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación, proporcionando una visión detallada de sus características y su relevancia.

Tabla 1.

Variables en estudio

Variable	Definición Teórica	Definición Operativa
Tasa de desperdicio	Porcentaje de materias primas que no se aprovechan en el producto final.	(Cantidad de materias primas desechadas / Cantidad total de materias primas utilizadas) x 100.
Eficiencia de producción	Nivel de eficacia al utilizar los recursos a lo largo de un proceso productivo.	(Cantidad de producto final / Cantidad de materias primas utilizadas) x 100.
Predicción de desperdicio	Estimación futura de la cantidad de materias primas que se desperdiciarán.	Valor numérico generado por los modelos predictivos del sistema.

Nota. Detalle de variables a utilizar dentro de la investigación asociado a cada objetivo específico. Elaboración propia, realizado en Word.

9.5. Fases del estudio

- Fase 1: revisión de literatura
 - Análisis de estudios previos sobre desperdicio en la industria alimentaria.
 - Investigación de técnicas de análisis de datos aplicadas a la optimización de procesos industriales.

- Fase 2: recolección de la información
 - Implementación de la infraestructura de recolección de datos (sensores IoT, interfaces con sistemas existentes).
 - Recopilación de datos históricos y en tiempo real sobre procesos de producción y uso de materias primas.
- Fase 3: análisis de información
 - Empleo de técnicas avanzadas de minería de datos para detectar y analizar los patrones subyacentes al desperdicio de recursos. Desarrollo y entrenamiento de modelos predictivos y prescriptivos
 - Análisis de correlaciones entre variables de proceso y tasas de desperdicio.
- Fase 4: Interpretación de información
 - Evaluación de los insights generados por el sistema.
 - Validación de las recomendaciones del sistema con expertos en la industria.
- Fase 5: Implementación piloto
 - Selección de una muestra de empresas para la implementación piloto del sistema.
 - Monitoreo y ajuste del sistema basado en el feedback de la implementación.
- Fase 6: evaluación de resultados

- Análisis comparativo de las tasas de desperdicio y eficiencia antes y después de la implementación y elaboración de informes para optimización continua.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se realizarán visitas a empresas de manufactura de productos alimenticios seleccionadas para obtener información relacionada con el uso de materias primas y los niveles de desperdicio de forma mensual y anual, para tener un panorama claro del sistema actual y de esta manera tener una recopilación de datos importantes para dimensionar las técnicas a utilizarse.

Al conocer los datos actuales que se tienen dentro de las empresas, se podrá iniciar con el desarrollo de la investigación en sus distintas etapas, realizando un análisis técnico para poder conocer sobre las tecnologías de análisis de datos y cuáles serían las óptimas para implementarse como sistema de optimización y reducción de desperdicios.

Al ser identificados los datos técnicos correspondientes a las tecnologías de análisis de datos, se realizarán simulaciones en softwares especializados para poder modelar y predecir el rendimiento del sistema empleado bajo diferentes condiciones. Se plantea usar programas de análisis estadístico y machine learning, como R o Python con librerías especializadas, para obtener informes detallados sobre el rendimiento y la eficacia potencial en la reducción de desperdicios.

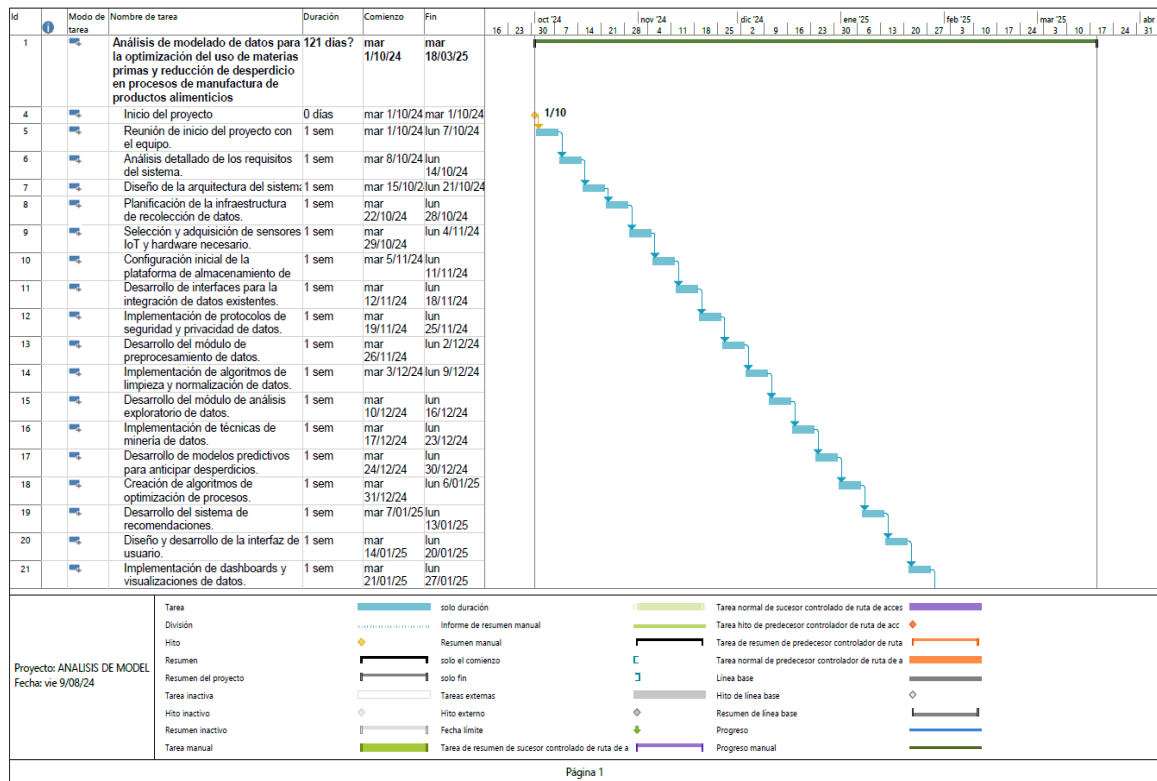
Con los datos obtenidos anteriormente en base a simulaciones y datos reales actuales de las empresas, se realizará un cuadro comparativo con las ventajas y desventajas que se tendría con la implementación del sistema de análisis de datos, en cuanto a optimización del uso de materias primas y reducción de desperdicios. Con toda esta información recopilada se podrá

realizar un análisis en cuanto a la viabilidad y las implicaciones de implementar un sistema de análisis de modelado de datos en las empresas de manufactura de productos alimenticios.

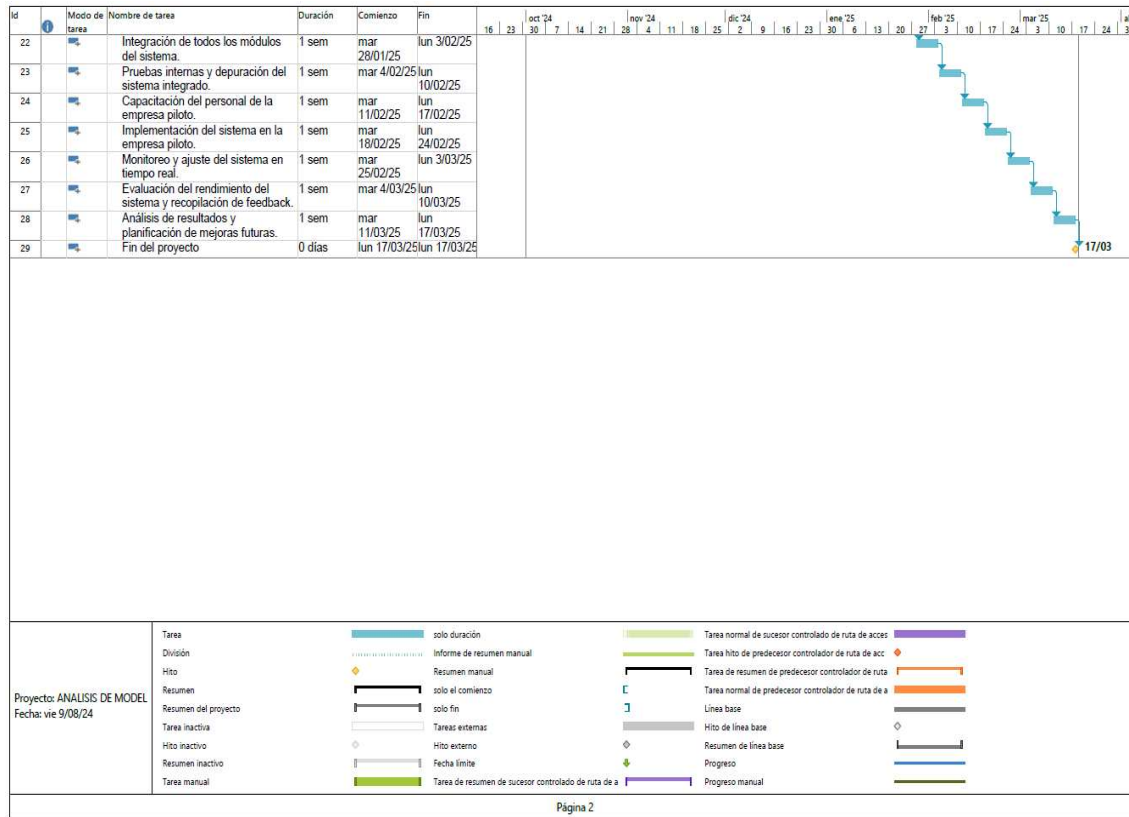
11. CRONOGRAMA

Figura 1.

Cronograma de investigación



Continuación de la Figura 1.



Nota. Cronograma detallado por fases, actividad y duración de la investigación por realizar.
Elaboración propia, realizado en Word.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Factibilidad Operativa

La implementación exitosa del Sistema Integral de Optimización y Reducción de Desperdicios basado en Análisis de Datos (SIORAD) en la industria alimentaria requiere una cuidadosa consideración de varios factores operativos clave. En primer lugar, es fundamental contar con un equipo humano altamente calificado y multidisciplinario. Este equipo debe incluir científicos de datos capaces de desarrollar y mantener modelos analíticos complejos, ingenieros de software para el desarrollo y mantenimiento de la plataforma, especialistas en IoT para la implementación y gestión de la red de sensores, y expertos en procesos alimentarios que aporten conocimientos específicos del dominio. La coordinación de este equipo diverso requerirá un gerente de proyecto experimentado, capaz de alinear los esfuerzos hacia los objetivos del sistema.

Además del equipo de implementación, es crucial invertir en la capacitación exhaustiva del personal existente. Esto implica desarrollar programas de formación para los operarios de planta, enfocados en el uso efectivo del sistema, así como talleres más avanzados para gerentes y supervisores sobre la interpretación de datos y la toma de decisiones basada en insights. La formación no debe ser un evento único, sino un proceso continuo que incluya sesiones de actualización periódicas para mantener al personal al día con las nuevas funcionalidades y mejoras del sistema.

En cuanto a la infraestructura tecnológica, el sistema requiere una inversión significativa en hardware y software. Es necesario implementar una red

robusta de sensores IoT compatibles con los procesos de producción alimentaria, capaces de recopilar datos en tiempo real sobre diversos parámetros del proceso. Estos datos deben ser procesados y almacenados en servidores de alta capacidad, lo que implica la necesidad de una infraestructura de almacenamiento y procesamiento de datos escalable y segura. La visualización de los datos y resultados del análisis es igualmente importante, por lo que se deben instalar dispositivos de visualización adecuados en puntos estratégicos de la planta.

El software es un componente crítico del sistema. Se requiere una plataforma de IoT para la gestión eficiente de la red de sensores y la recolección de datos, un sistema de gestión de bases de datos capaz de manejar grandes volúmenes de información estructurada y no estructurada, y herramientas avanzadas de análisis de datos y machine learning. La interfaz de usuario debe ser intuitiva y fácil de usar, con dashboards personalizables que permitan a los usuarios de diferentes niveles acceder a la información relevante para sus roles.

La integración del sistema con los sistemas existentes en la planta es un aspecto crucial de su factibilidad operativa. Esto incluye la integración con el sistema ERP para sincronizar datos de inventario, producción y planificación, con el sistema MES para obtener datos detallados de producción en tiempo real, y con sistemas SCADA para el monitoreo y control de procesos industriales. Esta integración requiere el desarrollo de APIs robustas y la implementación de protocolos de comunicación industrial estándar.

Los procesos operativos del sistema deben estar bien definidos y optimizados. Esto incluye el establecimiento de protocolos para la recolección continua y confiable de datos, la implementación de sistemas de validación y limpieza de datos en tiempo real, y el desarrollo de pipelines automatizados para el procesamiento y análisis de datos. Es fundamental contar con procesos para

el entrenamiento y actualización periódica de los modelos predictivos, así como para la generación automática de insights relevantes y recomendaciones priorizadas.

La gestión del cambio es un aspecto crítico para el éxito del sistema. Esto implica desarrollar un plan de comunicación integral para informar a todos los niveles de la organización sobre el sistema, sus beneficios y su progreso. Es importante implementar un sistema de incentivos para fomentar la adopción y uso efectivo del sistema, reconociendo a los empleados que contribuyan significativamente a la reducción de desperdicios. Además, se debe establecer un equipo de soporte técnico dedicado y crear una base de conocimientos para resolver problemas rápidamente.

El cumplimiento normativo es otro factor crucial en la industria alimentaria. El sistema debe diseñarse para cumplir con las normativas de seguridad alimentaria, como HACCP e ISO 22000, e incluir funcionalidades que faciliten las auditorías y la trazabilidad. Asimismo, debe cumplir con las regulaciones de protección de datos aplicables, implementando políticas adecuadas de retención y eliminación segura de datos.

Finalmente, la escalabilidad y adaptabilidad son fundamentales para su viabilidad a largo plazo. El sistema debe tener una arquitectura modular que permita su expansión y adaptación a diferentes líneas de producción y tipos de productos alimenticios. Debe ser lo suficientemente flexible para incorporar nuevas funcionalidades y adaptarse a las necesidades cambiantes de la industria sin interrumpir las operaciones existentes.

12.2. Factibilidad técnica

La factibilidad técnica de este proyecto se sustenta en la disponibilidad y madurez de las tecnologías necesarias para su implementación. En primer lugar, la infraestructura de recolección de datos se basa en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) ampliamente probadas en entornos industriales. Sensores avanzados capaces de medir parámetros como temperatura, humedad, composición química y flujo de materiales están disponibles comercialmente y pueden adaptarse a las condiciones específicas de la manufactura de alimentos. Estos sensores pueden integrarse en una red robusta que permita la transmisión de datos en tiempo real, proporcionando una base sólida para el análisis continuo de los procesos de producción.

El almacenamiento y procesamiento de los grandes volúmenes de datos generados por esta red de sensores se puede realizar mediante plataformas de big data como Hadoop o Apache Spark. Estas tecnologías han demostrado su eficacia en el manejo de datos a escala industrial y ofrecen la flexibilidad necesaria para adaptarse a las necesidades cambiantes del proyecto. Además, las soluciones de almacenamiento en la nube proporcionan una opción escalable y rentable para gestionar el crecimiento de los datos a lo largo del tiempo.

En cuanto al análisis de datos y el modelado predictivo, existen numerosas herramientas y bibliotecas de software que facilitan la implementación de técnicas avanzadas de machine learning y análisis estadístico. Plataformas como Python con bibliotecas como Scikit-learn, TensorFlow y PyTorch ofrecen un amplio espectro de algoritmos y modelos que pueden aplicarse a la predicción de desperdicios y la optimización de procesos. La madurez de estas herramientas, junto con la disponibilidad de documentación y comunidades de desarrollo

activas, reduce significativamente los riesgos técnicos asociados con el desarrollo de modelos complejos.

La integración de los resultados del análisis con los sistemas de control de procesos existentes es factible gracias a los protocolos de comunicación industrial estandarizados como OPC UA o MQTT. Estos protocolos permiten la interoperabilidad entre los sistemas de análisis de datos y los sistemas de control de planta, facilitando la implementación de ajustes en tiempo real basados en las recomendaciones generadas por los modelos predictivos.

La visualización de datos y la interfaz de usuario pueden desarrollarse utilizando frameworks modernos de desarrollo web como React o Angular, que permiten la creación de dashboards interactivos y responsivos. Estas tecnologías facilitan la presentación clara y accesible de los insights generados por el sistema, permitiendo a los operadores y gerentes tomar decisiones informadas rápidamente.

En términos de seguridad de datos, existen soluciones robustas para la encriptación de datos en tránsito y en reposo, así como para la gestión de accesos y autenticación. Tecnologías como VPNs, firewalls de nueva generación y sistemas de detección de intrusiones pueden implementarse para proteger la integridad y confidencialidad de los datos sensibles de producción.

La escalabilidad del sistema está respaldada por arquitecturas de microservicios y contenedores, como Docker y Kubernetes, que permiten un despliegue flexible y una gestión eficiente de los recursos computacionales. Estas tecnologías facilitan la adaptación del sistema a diferentes escalas de producción y su expansión a medida que crecen las necesidades de la empresa.

Finalmente, la implementación de metodologías ágiles de desarrollo de software, como Scrum o Kanban, puede asegurar un desarrollo iterativo y adaptativo del sistema. Esto permite ajustar continuamente el desarrollo a los requisitos cambiantes y garantizar que el producto final se alinee estrechamente con las necesidades reales de la industria alimentaria.

12.3. Factibilidad económica

La factibilidad económica de este proyecto se sustenta en el potencial de generar ahorros significativos y mejorar la eficiencia operativa en la industria de manufactura de alimentos. El desperdicio de materias primas representa una pérdida económica sustancial para las empresas del sector, y la implementación de un sistema de análisis de modelado de datos para optimizar su uso puede traducirse en importantes beneficios financieros.

La inversión inicial para el proyecto incluirá costos de hardware, como sensores IoT, servidores para el procesamiento de datos y dispositivos de visualización. También se deben considerar los costos de software, incluyendo licencias para plataformas de análisis de datos y desarrollo de aplicaciones personalizadas. Además, se requiere una inversión significativa en recursos humanos, incluyendo científicos de datos, ingenieros de software y expertos en procesos de manufactura de alimentos. Aunque estos costos iniciales pueden ser considerables, se espera que sean compensados por los beneficios a mediano y largo plazo.

Los beneficios económicos directos del proyecto se derivarán principalmente de la reducción del desperdicio de materias primas. Según estudios de la industria, el desperdicio en la manufactura de alimentos puede

representar entre el 5 % y el 20 % de los costos de producción. Una reducción conservadora del 10 % en el desperdicio podría resultar en ahorros sustanciales.

Además de la reducción directa de costos, el proyecto tiene el potencial de mejorar la eficiencia operativa general. La optimización de procesos basada en datos puede llevar a un aumento en la productividad, reducción de tiempos de inactividad y mejora en la calidad del producto. Estos factores pueden contribuir a un aumento en los ingresos y la rentabilidad de la empresa.

El proyecto también puede generar beneficios indirectos que, aunque más difíciles de cuantificar, son económicamente significativos. Estos incluyen una mejor reputación de la empresa debido a prácticas más sostenibles, potencial acceso a mercados premium que valoran la producción eficiente y sostenible, y posible reducción en costos de cumplimiento regulatorio gracias a una mejor trazabilidad y control de procesos.

Es importante considerar que el retorno de la inversión (ROI) puede variar dependiendo del tamaño de la empresa y la escala de implementación. Para empresas grandes con múltiples plantas de producción, el ROI podría ser más rápido debido a las economías de escala. Para empresas más pequeñas, aunque la inversión inicial puede ser proporcionalmente mayor, los beneficios en términos de eficiencia y competitividad pueden ser cruciales para su supervivencia y crecimiento en un mercado cada vez más competitivo.

Los costos operativos continuos del proyecto incluirán el mantenimiento de hardware y software, actualizaciones del sistema, y la formación continua del personal. Sin embargo, estos costos se espera que sean superados por los ahorros continuos y el aumento de la eficiencia.

Desde una perspectiva de riesgo financiero, el proyecto presenta un perfil favorable. Aunque la inversión inicial es significativa, el riesgo se mitiga por la naturaleza escalable de la implementación. El proyecto puede iniciarse con un piloto en una línea de producción específica, permitiendo validar los beneficios antes de una implementación a gran escala. Este enfoque gradual ayuda a distribuir los costos y riesgos a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

- Irani, Z., Sharif, A., Lee, H., Aktas, E., Topaloğlu, Z., van't Wout, T. & Huda, S. (2018). Gestionando la seguridad alimentaria a través del desperdicio y la pérdida de alimentos: De datos pequeños a big data. *Computers & Operations Research*, 98, 367-383.
- Jagtap, S. & Rahimifard, S. (2019). La digitalización de la fabricación de alimentos para reducir el desperdicio - Estudio de caso de una fábrica de comidas preparadas. *Waste Management*, 87, 387-397.
- Jurgilevich, A., Birge, T., Kentala-Lehtonen, J., Korhonen-Kurki, K., Pietikäinen, J., Saikku, L. y Schösler, H. (2016). Transición hacia la economía circular en el sistema alimentario. *Sustainability*, 8(1), 69.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A. & Gawankar, S. A. (2020). Lograr un desempeño sostenible en una cadena de suministro agrícola basada en datos: Una revisión para investigación y aplicaciones. *International Journal of Production Economics*, 219, 179-194.
- Parfitt, J., Barthel, M. y Macnaughton, S. (2010). Desperdicio de alimentos dentro de las cadenas de suministro de alimentos: cuantificación y potencial de cambio hasta 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065-3081.

Sachs, J., Schmidt, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N. & Rockström, J. (2021). Seis transformaciones para lograr los objetivos de desarrollo sostenible. *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814.

Tian, F., Wu, J. y Deng, S. (2022). Tendencias emergentes de la inteligencia artificial en la seguridad alimentaria: Una revisión bibliométrica. *Food Control*, 131, 108437.

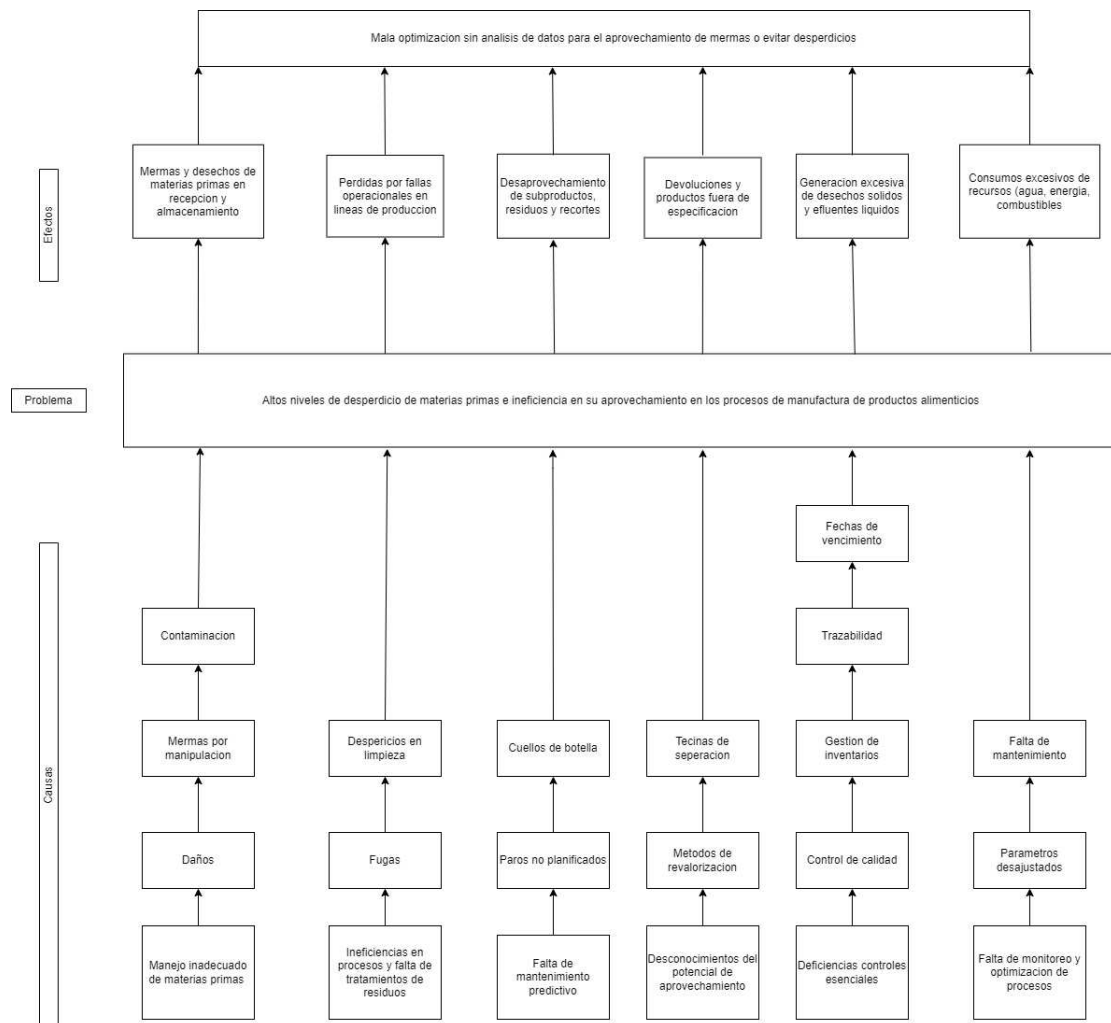
Tsakanikas, P., Pavlou, D., Nychas, G., & Panagou, E. (2020). Aprendizaje automático en microbiología y seguridad alimentaria: Desafíos y oportunidades. *Current Opinion in Food Science*, 38, 79-87.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. y Bogaardt, M. (2017). Big data en agricultura inteligente—una revisión. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Nota. La imagen presenta el árbol de problemas, causas y efectos de los altos niveles de desperdicio de materias primas e ineficiencia en su aprovechamiento en los procesos de manufactura de productos alimenticios. Elaboración propia, realizado en Word.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEORICO	HIPTESIS GENERAL	VARIABLE	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿Como se puede desarrollar un modelo de analisis de datos que optimice el uso de materias primas y reduzca significativamente el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios?</p>	<p>Desarrollar un analisis de modelado de datos que permita optimizar el uso de materias primas y reducir significativamente el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios, mediante la aplicación de técnicas avanzadas de big data, minería de datos, aprendizaje automatico y analisis predictivo.</p>	<p>Antecedentes: Analisis Internacional Jeyap, S. & Rahmiliard, S. (2019). The digitisation of food manufacturing to reduce waste - Case study of a ready meal factory. Waste Management, 87, 387-397. Este estudio de caso internacional examina como la digitalización y el analisis de datos pueden ayudar a reducir el desperdicio en una fabrica de comidas preparadas. Los autores destacan el potencial de las tecnologías digitales y los modelos de analisis de datos para optimizar los procesos de producción, mejorar la eficiencia y minimizar el desperdicio de materias primas en la industria alimentaria.</p>	<p>GENERAL El desarrollo de un analisis de datos basado en técnicas avanzadas de big data, minería de datos y aprendizaje automatico permitira optimizar significativamente el uso de materias primas y reducir el desperdicio en los procesos de manufactura de productos alimenticios.</p>	<p>Variable 1: Eficiencia en el uso de materias primas Dimensiones: Tasa de desperdicio Rendimiento de producción Variable 2: Modulo de analisis de datos Dimensiones: Precisión Eficacia en la reducción del desperdicio Escalabilidad</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Descriptivo-Correlacional Método: Cuantitativo Diseño de Investigación: Experimental Publicación y Materia: Procesos de manufactura en empresas de la industria alimentaria Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos: 1. Observación estructurada: Se utilizará hojas de registro estandarizado para recoger datos sobre los procesos de producción y el uso de materias primas. 2. Analisis documental: Se analizarán registros históricos de producción, inventarios y desperdicios. 3. Sensores IoT: Se implementarán sensores de punto clave del proceso productivo para recopilar datos en tiempo real. 4. Encuestas: Se aplicará cuestionarios a personal clave para obtener información sobre prácticas actuales y percepciones de problemas. 5. Entrevistas semiestructuradas: Se realizarán a gerentes y supervisores para obtener insights sobre los procesos y desafíos.</p>
<p>Problemas asociados: ¿Que factores (operativos, ambientales, humanos) contribuyen mas al desperdicio en cada etapa del proceso? ¿Que estrategias de almacenamiento y procesamiento de datos son mas adecuadas para manejar la variabilidad y el volumen de datos generados en la industria alimentaria? ¿Que variables y características son mas relevantes del problema del</p>	<p>Especificidad: Identificar y caracterizar las principales causas, fuentes y patrones de desperdicio de materias primas. Evaluar y seleccionar las técnicas y tecnologías de analisis de datos mas adecuadas. Desarrollar un sistema de recolección y organización de datos que integre la información proveniente de las diferentes etapas del proceso de manufactura de alimentos, facilitando su acceso y analisis para la toma de decisiones orientadas a la optimización del</p>	<p>Analisis Nacional: Rodas, L. F. & Garcia, M. A. (2018). Implementación de un sistema de trazabilidad para la reducción de mermas en la industria de alimentos en Guatemala. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 37, 34-52. Este estudio, aunque no se centra específicamente en el analisis de datos, aborda la problemática de la reducción de mermas (desperdicio) en la industria alimentaria guatemalteca. Los autores exploran como la implementación de un sistema de trazabilidad puede contribuir a identificar y reducir las pérdidas de materias primas en los procesos de producción, sentando las bases para futuras aplicaciones de analisis de datos mas avanzadas en este contexto.</p>	<p>Hipótesis Nula: La implementación de un modelo de analisis de datos basado en técnicas avanzadas no tendrá un impacto significativo en la optimización del uso de materias primas y la reducción del desperdicio.</p>		<p>Técnicas de Procesamiento de Datos: 1. Preprocesamiento de datos: Limpieza, normalización y transformación de datos crudos. 2. Analisis exploratorio de datos (EDA): Uso de estadísticas descriptivas y visualizaciones para identificar patrones iniciales. 3. Técnicas de muestreo de datos: ○ Analisis de clusters para identificar grupos de procesos similares. ○ Analisis de asociación para descubrir relaciones entre variables. 4. Modelos predictivos: ○ Regresión lineal y logística (Lineal, logística) para predecir niveles de desperdicio. ○ Árboles de decisión y Random Forest para clasificar causas de desperdicio. ○ Redes neuronales para modelado complejo de procesos. 5. Analisis de series temporales: Para identificar tendencias y patrones cíclicos en el uso de materias primas y generación de desperdicio. 6. Técnicas de optimización: Algoritmos genéticos o programación lineal para optimizar parámetros de proceso. 7. Validación cruzada: Para evaluar la robustez y generalización de los modelos desarrollados. 8. Analisis de sensibilidad: Para comprender la influencia de diferentes variables en los resultados del modelo. Herramientas de Software: • Python con bibliotecas como Pandas, Scikit-learn, TensorFlow para analisis de datos y modelado. • R para analisis estadísticos avanzados. • Tableau o Power BI para visualización de datos y creación de dashboards. • SQL para gestión y consulta de bases de datos.</p>

Nota. Matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado en Word.