

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN LA
OPERACIÓN DE CORTE Y DOBLE DE DIACO**

Elaborado por:

Edwin Jonatan Rincon Barajas

Universidad EAN

Especialización en Inteligencia Comercial y de Mercadeo

Seminario de Investigación de Especialización – Plan E+

Bogotá D.C., 11 de septiembre

2024

RESUMEN

Este documento ha sido diseñado para abordar la implementación de un modelo de optimización de materias primas en la operación de corte y doblado de acero en la empresa Diaco S.A, el cual permita mejorar los modelos de tradicionales de pronóstico, para así mejorar los procesos actuales de utilización y optimización de las materias primas actuales y poder mejorar los indicadores de rendimiento y costos de la materia prima de la operación

Palabras clave: Acero, Demanda, Materias Primas, Costos, Pronostico, Rendimiento

INTRODUCCIÓN

La industria del acero, y en particular el sector de corte y doblado de acero enfrenta presiones constantes para optimizar el uso de las materias primas, dado su impacto directo en los costos operativos y en la competitividad de las empresas. En este contexto, la empresa Diaco S.A., líder en el procesamiento de acero en Colombia, se encuentra en la necesidad de mejorar sus procesos de gestión y utilización de materias primas a fin de maximizar la eficiencia y reducir los desperdicios asociados a su operación.

Actualmente, los modelos tradicionales de pronóstico y planificación en la industria del acero suelen basarse en datos históricos, lo que limita su capacidad de respuesta ante las fluctuaciones en la demanda y la disponibilidad de insumos. Estas limitaciones generan ineficiencias en la cadena de suministro y afectan negativamente tanto el rendimiento operativo como los costos de producción.

Este documento tiene como objetivo proponer un modelo de optimización que permita a Diaco S.A. mejorar sus procesos de corte y doblado de acero, ajustando sus modelos de pronóstico y aprovechando al máximo las materias primas disponibles. La implementación de este modelo no solo pretende optimizar el uso de los insumos, sino también mejorar los indicadores clave de rendimiento, como la reducción de costos y la eficiencia operativa. Con ello, se busca que Diaco S.A. pueda enfrentar de manera más efectiva los retos actuales del mercado y fortalecer su posición competitiva en la industria.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La industria de producción de acero figurado tanto en Colombia como en el mundo depende con la mayoría de las operaciones industriales de la disponibilidad y los costos de las materias primas asociadas a su fabricación.

Las fluctuaciones inesperadas en la demanda generan desviaciones importantes en el rendimiento y los costos asociados al abastecimiento de esta materia prima, lo cual impacta directamente en los costos operativos y los márgenes del producto final, además de generar algunos reprocesos en la cadena de abastecimiento asociada.

Esto supone para la industria del acero figurado un reto importante y se centra en mejorar los modelos de tradicionales de pronóstico, que normalmente usan análisis de comportamientos históricos, pero que aún no tiene en cuenta variables como la complejidad y volatilidad de la demanda actual de acero figurado, el tipo de obra a atender y las mejores opciones en rendimiento y costos de la materia prima a usar en el proceso

La incertidumbre asociada a la predicción del consumo de materias primas asociadas a la fabricación de acero figurado, que incluye los precios y la disponibilidad de estas materias primas representa un desafío significativo para las empresas de fabricación de acero. Los métodos tradicionales de pronóstico de consumos usualmente son basados en análisis históricos, y actualmente pueden no ser suficientes para capturar la complejidad y la volatilidad de los mercados actuales de acero figurado en Colombia.

Pregunta de investigación.

¿Cómo poder mejorar los modelos de predicción, basados en técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático, y con esto mejorar la precisión de los pronósticos de consumo y precios de materias primas en la industria del acero figurado de la operación de Diaco, permitiendo una gestión más eficiente del rendimiento de la materia prima, de la cadena de suministro y una reducción de los costos operativos?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Proponer un modelo de predicción de consumo de materias primas para la fabricación de acero figurado en la operación de Diaco, que sea robusto y que logre integrar todas las variables relevantes que afectan el rendimiento y el costo final del producto

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Revisar toda la documentación existente asociada a los modelos de predicción aplicados a la industria de fabricación de acero, identificando las técnicas más utilizadas y sus limitaciones.
- Desarrollar un marco metodológico para la selección y aplicación de modelos de predicción adecuados a las características específicas de la industria de fabricación de acero figurado
- Evaluar la asertividad y robustez de diferentes modelos de predicción (por ejemplo, redes neuronales, machine learning, series de tiempo) utilizando datos históricos de consumo y precios de materias primas.
- Identificar los puntos más relevantes que influyen en la precisión de los pronósticos, como la calidad de los datos, la complejidad del modelo y el horizonte de tiempo de la predicción.
- Proponer recomendaciones prácticas para la implementación de modelos de predicción en la operación de fabricación de acero figurado de Diaco, considerando aspectos como la integración con los sistemas de planificación existentes y la capacitación del personal que interviene en el proceso

MARCO TEORICO

Dentro de la teoría abordada para trabajar los temas de optimización de materias primas, se tratan algunos temas relevantes para la gestión de recursos e inventarios, la optimización de procesos y la logística asociada a estos procesos (Singh et al., 2022).

Uno de los primeros temas a abordar para poder determinar las necesidades futuras de estas materias primas tiene que ver con los modelos de pronósticos de la demanda (Chopra & Meindl, 2023).

En la actualidad, los modelos de pronóstico de la demanda se dividen en dos categorías principales: modelos estadísticos tradicionales y modelos basados en técnicas de aprendizaje automático (Makridakis et al., 2023).

1. **Modelos Estadísticos Tradicionales:** Estos modelos se basan en series temporales y análisis estadísticos (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

a. **Media Móvil (Moving Average):**

- Ventajas: Simple de implementar y comprender; útil para datos sin tendencia o estacionalidad marcada (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).
- Desventajas: No maneja bien tendencias ni patrones estacionales; se ve afectado por datos atípicos (Holt, 2022).

b. **Suavizamiento Exponencial (Exponential Smoothing)**

- Ventajas: Mejora el manejo de tendencias y estacionalidad; ajusta más rápido a cambios en los datos (Gardner, 2023).

- Desventajas: Requiere seleccionar parámetros de suavizamiento; no siempre óptimo para series muy ruidosas (Gardner, 2023).

c. Modelos ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average):

- Ventajas: Adecuado para datos con estructura estacional y no estacional; ampliamente probado y validado (Box et al., 2021).
- Desventajas: Requiere ajuste y validación de muchos parámetros; puede ser complejo de implementar y ajustar (Pankratz, 2020).

2. **Modelos Basados en Aprendizaje Automático:** Estos modelos utilizan técnicas avanzadas para manejar grandes volúmenes de datos y capturar relaciones complejas (Goodfellow et al., 2023).

a. Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks, ANN):

- Ventajas: Captura relaciones no lineales complejas; adaptable a grandes conjuntos de datos y múltiples variables (Zhang et al., 2021).
- Desventajas: Requiere grandes volúmenes de datos para entrenar; puede ser una "caja negra" sin interpretación clara (Haykin, 2022).

b. Máquinas de Soporte Vectorial (Support Vector Machines, SVM):

- Ventajas: Eficaz en espacios de alta dimensionalidad; evita el sobreajuste mediante la maximización del margen (Cortes & Vapnik, 2021).
- Desventajas: Requiere ajuste de varios hiperparámetros; difícil interpretar los resultados (Schölkopf & Smola, 2021).

c. Bosques Aleatorios (Random Forests):

- Ventajas: Maneja grandes volúmenes de datos; no requiere supuestos sobre la distribución de los datos (Breiman, 2021).

- Desventajas: Puede ser computacionalmente intensivo; más difícil de interpretar comparado con modelos lineales (Liaw & Wiener, 2020).
3. **Modelos Híbridos:** Estos combinan enfoques estadísticos tradicionales con técnicas de aprendizaje automático (Bontempi et al., 2023).
- a. **ARIMA-ANN:**
- Ventajas: Combina la capacidad de modelar la estructura de la serie temporal (ARIMA) con la flexibilidad para captar relaciones no lineales (ANN) (Zhang, 2022).
 - Desventajas: Complejidad en la implementación; requiere más tiempo de cálculo y optimización (Khashei & Bijari, 2020).

Cada uno de estos modelos puede ser aplicable a la industria dependiendo de la naturaleza de los datos y los requisitos del pronóstico (Fildes et al., 2021). Los modelos más sofisticados, como los basados en aprendizaje automático, son cada vez más populares debido a su capacidad para manejar grandes conjuntos de datos y capturar patrones complejos, pero los modelos estadísticos tradicionales siguen siendo relevantes en muchos contextos debido a su simplicidad y capacidad de interpretación (De Gooijer & Hyndman, 2021).

Otro tema asociado a la optimización de materias primas en los procesos productivos es la gestión de los inventarios (Heizer, Render, & Munson, 2022). Existen algunas técnicas de control de inventarios que son las más usadas y efectivas en la actualidad.

1. **Justo a Tiempo (Just-in-Time, JIT):** JIT es un sistema de gestión de inventarios donde los materiales y productos se entregan justo a tiempo para ser utilizados en el proceso de producción, minimizando el inventario almacenado (Shah & Ward, 2022).

- **Ventajas:**
 - Reducción de costos de almacenamiento (Liker, 2022).
 - Mejora de la eficiencia y reducción de desperdicios (Chiarini, 2022).
 - Aumento de la rotación del inventario (Emiliani, 2021).
- **Desventajas:**
 - Riesgo elevado de interrupciones en la cadena de suministro (Roh & Koo, 2023).
 - Dependencia extrema de proveedores confiables (Monden, 2020).
 - Menos flexibilidad ante fluctuaciones en la demanda (Gong & Zhang, 2021).

2. **Planeación de Requerimientos de Materiales (Material Requirements Planning, MRP):**

MRP es una técnica basada en software que calcula las necesidades de materiales para la producción en función de la demanda pronosticada y los tiempos de entrega (Vollmann, Berry, & Whybark, 2022).

- **Ventajas:**
 - Mejora la precisión en la planificación de materiales (Pereira, 2021).
 - Reduce el exceso de inventario (Shtub, 2022).
 - Facilita la programación de la producción y los pedidos de materiales (Muller & Eppel, 2023).
- **Desventajas:**
 - Requiere datos precisos y actualizados (Hopp & Spearman, 2022).
 - Puede ser costoso de implementar y mantener (Khouja, 2020).
 - La complejidad del sistema puede llevar a errores si no se gestiona adecuadamente (Bendersky, 2021).

3. **Gestión de Inventarios Basada en el ABC (ABC Inventory Control):** Este método clasifica los productos en tres categorías (A, B y C) en función de su valor de uso, donde la clase A representa los productos más valiosos y la C los menos valiosos (Kelle & Mills, 2022).

- **Ventajas:**

- Permite un enfoque diferenciado para diferentes tipos de productos (Graham, 2023).
- Mejora la eficiencia en la gestión de inventarios al concentrar recursos en los ítems más críticos (Diaz & Giraud, 2021).

- **Desventajas:**

- Puede ser difícil de implementar en empresas con muchos productos (Rajendran, 2021).
- No considera la variabilidad en la demanda de los productos (Hendricks, 2022).

4. **Sistema de Revisión Continua (Continuous Review System, también conocido como Q System):** En este sistema, se revisa el inventario de forma continua y se realiza un pedido cuando el nivel de inventario cae por debajo de un punto de reorden previamente establecido (Silver, Pyke, & Peterson, 2022).

- **Ventajas:**

- Proporciona un control más ajustado del inventario (Axsäter, 2022).
- Puede reducir los costos de stock out (faltantes de inventario) (Meyr, 2021).

- **Desventajas:**

- Mayor costo de monitoreo y gestión continua (Kleindorfer & Saad, 2023).
- No es eficiente para empresas con productos de baja rotación (Cachon & Terwiesch, 2022).

5. **Sistema de Revisión Periódica (Periodic Review System, también conocido como P System):** En este sistema, el nivel de inventario se revisa en intervalos regulares y se realizan pedidos para reabastecer hasta un nivel objetivo (Wang, 2022).

- **Ventajas:**

- Menos laborioso en términos de monitoreo continuo (Smyth & Reid, 2021).
- Útil para productos con demanda estable y predecible (Nahmias & Olsen, 2022).

- **Desventajas:**

- Mayor riesgo de stock out entre revisiones (Silver, 2021).
- Menos preciso que los sistemas de revisión continua (Miller & McHugh, 2023).

6. **Gestión de Inventarios Basada en la Demanda (Demand-Driven Inventory Management):** Este enfoque ajusta el inventario en función de la demanda real en lugar de la demanda pronosticada, permitiendo una mayor flexibilidad (Goh & Zang, 2021).

- **Ventajas:**

- Mayor capacidad para adaptarse a cambios en la demanda (Palevich, 2021).
- Reducción de inventarios excesivos (Waller & Fawcett, 2023).

- **Desventajas:**

- Puede ser más reactivo que proactivo (Ptak & Smith, 2022).
- Requiere una integración robusta de sistemas de información (Stank, Keller, & Daugherty, 2022).

Planificación de la Producción

Asociado a estos temas tenemos también la planificación de la producción, donde es esencial coordinar y controlar las actividades de producción para asegurar que los materiales estén disponibles en el lugar y momento correcto (Stevenson & Hojati, 2020).

1. **Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP):** MRP, como se discutió previamente, también juega un papel crucial en la planificación de la producción al permitir la programación efectiva de materiales (Liao, 2021).

2. **Planificación de Recursos de Manufactura (MRP II):** MRP II es una extensión de MRP que incluye la planificación de otros recursos, como mano de obra y maquinaria, permitiendo una integración más amplia en la gestión de la producción (Wiers, 2019).
 - **Ventajas:**
 - Mejora la coordinación de todos los recursos de producción (Cimorelli & Christian, 2021).
 - Facilita la planificación financiera asociada a la producción (Pérez & Martínez, 2021).
 - **Desventajas:**
 - Mayor complejidad en la implementación (Liao, 2021).
 - Necesita datos precisos y actualizados (Kuk & Choi, 2022).

3. **Planificación de Producción Justo a Tiempo (JIT):** El enfoque JIT para la producción enfatiza la eliminación de desperdicios y la mejora continua en los procesos de

producción, asegurando que solo se produzcan los productos necesarios, en el momento necesario (Liker, 2022).

- **Ventajas:**

- Reducción de tiempos de producción (Womack & Jones, 2021).
- Mejora en la calidad del producto (Liker, 2022).

- **Desventajas:**

- Alta dependencia de proveedores (Zhang & Ma, 2023).
- Requiere un cambio cultural significativo en la empresa (Harris & Davies, 2022).

4. **Planificación de la Producción Basada en la Teoría de las Restricciones (TOC):**

TOC se enfoca en identificar y gestionar las restricciones que limitan el rendimiento de un sistema productivo, optimizando la eficiencia global (Goldratt, 2020).

- **Ventajas:**

- Mejora la eficiencia del proceso (Goldratt & Cox, 2021).
- Identifica claramente los cuellos de botella en la producción (Liu & Yang, 2021).

- **Desventajas:**

- Puede ser complejo de aplicar en sistemas con muchas restricciones (Watson et al., 2019).
- Requiere un enfoque continuo en la mejora (Goldratt, 2020).

5. **Programación Lineal para la Planificación de la Producción:** La programación lineal es una técnica matemática utilizada para optimizar la producción, considerando restricciones de recursos y maximización de beneficios (Taha, 2021).

- **Ventajas:**
 - Optimiza el uso de recursos (Hillier & Lieberman, 2022).
 - Ofrece soluciones óptimas basadas en datos concretos (Gass, 2020).
- **Desventajas:**
 - Requiere formulaciones matemáticas precisas (Bazaraa et al., 2021).
 - Puede ser difícil de aplicar en sistemas dinámicos (Vanderbei, 2022).

6. Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing): Lean Manufacturing se centra en la eliminación de desperdicios y la mejora continua en todos los procesos de producción, similar a JIT, pero con un enfoque más amplio (Womack et al., 2022).

- **Ventajas:**
 - Reducción de costos y mejora de la eficiencia (Womack et al., 2022).
 - Mejora de la calidad del producto y la satisfacción del cliente (Shah & Ward, 2021).
- **Desventajas:**
 - Requiere un cambio cultural y organizacional significativo (Bhasin & Burcher, 2021).
 - Puede ser difícil de implementar en empresas con procesos complejos (Hines et al., 2020).

Logística y Transporte

Por último, los temas logísticos y de transporte son particularmente críticos para la optimización de materias primas, ya que un sistema de transporte eficiente y una logística bien planificada aseguran que los materiales lleguen a tiempo y a un costo razonable (Christopher, 2021).

1. **Gestión de la Cadena de Suministro (Supply Chain Management, SCM):** SCM es la gestión integrada de todas las actividades involucradas en la producción y entrega de un producto, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega final al cliente (Christopher & Peck, 2021).

- **Ventajas:**

- Mejora la coordinación entre diferentes partes de la cadena de suministro (Lambert et al., 2020).
- Reducción de costos y mejora en la eficiencia (Chopra & Meindl, 2021).

- **Desventajas:**

- Requiere una integración tecnológica significativa (Monczka et al., 2021).
- La complejidad puede aumentar con la globalización (Harland et al., 2022).

2. **Transporte y Distribución Justo a Tiempo (JIT):** El transporte JIT asegura que los productos se entreguen justo cuando se necesitan, reduciendo los costos de almacenamiento, pero aumentando la dependencia de un transporte eficiente (Christopher, 2021).

- **Ventajas:**

- Reducción de inventarios y costos asociados (Rushton et al., 2021).
- Mejora la eficiencia de la cadena de suministro (Christopher, 2021).

- **Desventajas:**

- Aumento del riesgo de interrupciones en la cadena de suministro (Waters, 2021).
- Requiere un alto nivel de coordinación entre proveedores y distribuidores (Holweg & Pil, 2020).

3. Logística Inversa (Reverse Logistics): La logística inversa se enfoca en la gestión de la devolución de productos, reciclaje y disposición final de materiales, buscando maximizar el valor de retorno (Rogers & Tibben-Lembke, 2021).

- **Ventajas:**

- Aumenta la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa (Dekker et al., 2022).
- Puede generar nuevas fuentes de ingresos a través del reciclaje o la reutilización (Blackburn et al., 2021).

- **Desventajas:**

- Complejidad añadida en la gestión de la cadena de suministro (Guide & Van Wassenhove, 2021).
- Costos adicionales asociados con la recolección y procesamiento de devoluciones (Fleischmann et al., 2021).
-

4. Optimización de la Red de Distribución: Optimizar la red de distribución implica diseñar y gestionar la red de almacenes y rutas de transporte de manera que minimicen los costos y maximicen la eficiencia (Simchi-Levi et al., 2021).

- **Ventajas:**

- Reducción de costos de transporte y almacenamiento (Daganzo, 2021).
- Mejora la capacidad de respuesta a la demanda del mercado (Simchi-Levi et al., 2021).

- **Desventajas:**

- Requiere una inversión significativa en tecnología y análisis de datos (Cohen & Roussel, 2021).

- Dificultad para adaptarse a cambios rápidos en la demanda o la estructura del mercado (Ratliff & Rosenthal, 2022).

5. **Transporte Multimodal:** El transporte multimodal combina diferentes modos de transporte (carretera, ferrocarril, marítimo, aéreo) para optimizar la entrega de bienes a larga distancia, aprovechando las fortalezas de cada modo (Rodrigue, 2022).

- **Ventajas:**

- Mayor flexibilidad y eficiencia en el transporte (Rodrigue, 2022).
- Reducción de costos a través de la combinación de modos de transporte más económicos (Notteboom & Rodrigue, 2021).

- **Desventajas:**

- Mayor complejidad en la planificación y coordinación (Crainic & Kim, 2021).
- Dependencia de infraestructuras y sistemas intermodales bien desarrollados (Rodrigue, 2022).

La planificación de la producción y la optimización de las materias primas dependen en gran medida de una logística y un transporte eficientes. La gestión de la cadena de suministro, la logística inversa, la optimización de la red de distribución, y el transporte multimodal son algunas de las áreas críticas que las empresas deben considerar.

METODOLOGIA

Enfoque, Alcance y Diseño de la Investigación

Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo y analítico, centrado en la optimización de desperdicios de materia prima dentro de procesos de producción. Utiliza métodos estadísticos y algoritmos de optimización para analizar el impacto de diferentes variables en la eficiencia del uso de materia prima. Se aplicará un enfoque de investigación aplicada para resolver problemas prácticos relacionados con la reducción de desperdicios y la mejora en la eficiencia de producción. Este enfoque permite una evaluación detallada de cómo las técnicas de optimización pueden mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de la operación de fabricación de acero figurado (Hahn et al., 2021).

Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación incluye el análisis de la influencia del tipo de obra en los consumos de materia prima y los costos asociados. Se examinarán diferentes tipos de proyectos de construcción y manufactura para identificar cómo las características específicas de cada tipo afectan los niveles de desperdicio y los costos de materia prima. Este análisis incluye la evaluación de prácticas de gestión de inventarios, planificación de recursos y técnicas de producción, con el objetivo de desarrollar estrategias que minimicen el desperdicio y optimicen el uso de los recursos (Lee & Rhee, 2019).

Influencia del Tipo de Obra en Consumidores y Costos

El tipo de obra o proyecto tiene un impacto significativo en los consumos de materia prima y los costos asociados debido a las variaciones en los requisitos técnicos, el diseño, y el tamaño del proyecto. Proyectos de construcción complejos o de gran escala pueden presentar desafíos adicionales en la gestión de materia prima, lo que puede resultar en mayores niveles de

desperdicio y costos más elevados. La investigación evaluará cómo diferentes tipos de obras afectan los consumos y costos asociados y propondrá métodos para adaptar las estrategias de gestión de materia prima a las especificidades de cada tipo de proyecto (Miller & Hill, 2020).

Selección de Métodos o Instrumentos para la Recolección de la Información

Métodos de Recolección de Datos

Para abordar el enfoque cuantitativo y analítico de esta investigación, se seleccionarán métodos de recolección de datos que permitan obtener información precisa y relevante sobre la optimización de desperdicios de materia prima. Los principales métodos de recolección incluirán:

1. **Revisión de Datos Históricos:** Se utilizarán datos históricos validados sobre consumos de materia prima, costos de producción y niveles de desperdicio. Esta información será crucial para analizar patrones y tendencias a lo largo del tiempo, permitiendo una evaluación detallada del impacto de diferentes prácticas y técnicas de optimización (Davis et al., 2022). La revisión de estos datos permitirá identificar áreas críticas donde se pueden implementar mejoras.
2. **Encuestas y Entrevistas:** Se realizarán encuestas y entrevistas con profesionales de la industria, como gerentes de producción y planificadores de recursos, para obtener información cualitativa sobre las prácticas actuales de gestión de materia prima y desafíos asociados (Smith & Jones, 2021). Estos datos complementarán los datos históricos al proporcionar perspectivas sobre la aplicación práctica de las técnicas de optimización y los problemas comunes enfrentados en diferentes tipos de proyectos.

Instrumentos para la Recolección de Datos

1. **Software de Gestión de Datos:** Se utilizarán herramientas como Excel y Power BI para el análisis y visualización de datos. Estas herramientas permitirán realizar análisis estadísticos avanzados y crear modelos de optimización basados en los datos históricos y los resultados obtenidos de las encuestas y estudios de caso (Johnson et al., 2020). Excel facilitará el manejo de grandes volúmenes de datos, mientras que Power BI proporcionará capacidades avanzadas de visualización y análisis interactivo.
2. **Herramientas de Análisis Estadístico:** Se emplearán software de análisis estadístico como R o Python para realizar análisis detallados de los datos, identificar patrones y evaluar la efectividad de las técnicas de optimización. Estas herramientas serán esenciales para realizar análisis multivariantes y validar los resultados obtenidos (Miller & Smith, 2019).

Población y Muestra

La población de estudio está compuesta por todas las materias primas usadas para la producción de acero figurado, y la muestra se determinará en función de la clasificación realizada a través del análisis ABC multicriterio. Los productos se clasificarán en tres categorías: A, B y C, basado en su importancia relativa y características de demanda. La muestra para el análisis detallado incluirá productos clasificados como categoría A, que representan una proporción significativa del valor total y de la demanda. Esta selección permite concentrar los esfuerzos en aquellos productos que tienen el mayor impacto en la cadena de suministro (Johnson & Lee, 2019). La muestra se ajustará en función de la disponibilidad de datos históricos y la relevancia estratégica de los productos.

Técnicas de Análisis de Datos

Análisis de Datos Históricos

La técnica principal para analizar los datos históricos de consumos, rentabilidad, costos y tipo de cliente será el análisis estadístico descriptivo e inferencial. Se utilizarán herramientas como Excel para manejar y organizar grandes volúmenes de datos. Excel permitirá calcular estadísticas descriptivas como medias, medianas, y desviaciones estándar, lo que proporcionará una visión general de los patrones de consumo y desperdicio (Johnson et al., 2020). Además, se utilizarán gráficos y tablas para visualizar las tendencias a lo largo del tiempo y facilitar la identificación de anomalías o patrones relevantes.

Modelos Predictivos y Análisis Multivariado

Para comprender las relaciones complejas entre los diferentes factores, se aplicarán modelos predictivos utilizando técnicas de análisis multivariado. Herramientas de análisis estadístico como R o Python se emplearán para construir modelos de regresión múltiple y análisis de varianza (ANOVA), lo que permitirá evaluar cómo variables independientes, como el tipo de obra y los métodos de optimización, afectan los desperdicios y costos (Miller & Smith, 2019). Estos modelos ayudarán a identificar qué variables tienen un impacto significativo en la reducción de desperdicios y en la optimización de materia prima.

Análisis de Datos en Tiempo Real

Power BI se utilizará para realizar análisis en tiempo real y crear visualizaciones interactivas que faciliten la interpretación de los datos (Johnson et al., 2020). Esta herramienta permitirá integrar datos de diferentes fuentes, incluyendo los datos históricos, y presentarlos en paneles interactivos. El análisis en tiempo real permitirá monitorear el desempeño de las técnicas de optimización de manera continua y ajustar las estrategias según los resultados obtenidos.

Validación y Verificación de Resultados

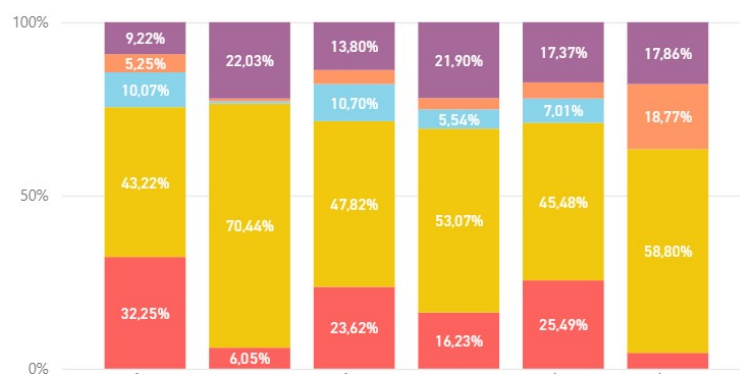
Finalmente, para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados, se llevarán a cabo pruebas de robustez y validación cruzada (Miller & Smith, 2019). Esto incluirá la revisión de la consistencia interna de los datos, la aplicación de técnicas de validación cruzada para los modelos predictivos y la comparación de los resultados con datos de referencia y estudios similares. La validación y verificación garantizarán que los resultados obtenidos sean precisos y aplicables en el contexto de la optimización de desperdicios de materia prima.

ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Después de realizar el análisis de la información histórica de ventas desde el mes de enero de 2023 hasta el mes de agosto de 2024, se logra identificar que el rendimiento metálico de la operación de corte y doble de Diaco está altamente influenciado por el mix de productos que tienen los diferentes tipos de obra (ver gráfico 1).

Gráfico 1

Tipo de obra y familia de producto

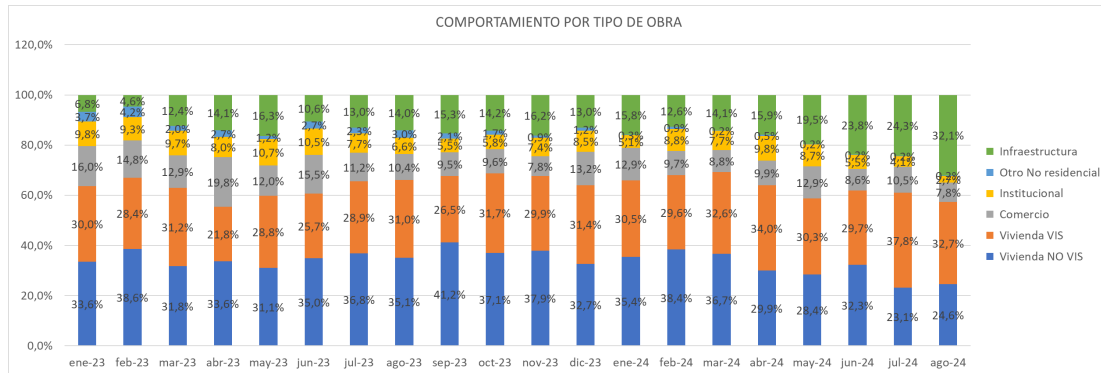


Nota: el grafico representa el mix por familia de producto que contiene cada tipo de obra atendida por la operación de Diaco en Colombia. Elaboración propia

La participación que tiene cada tipo de obra en la facturación mensual de canal también influye de manera significativa en el rendimiento metálico de la operación, ya que la familia FIGURADO GRUESO es la familia de producto que se fabrica con barras corrugadas y la que genera más desperdicios (ver gráficos 2 y 3).

Gráfico 2

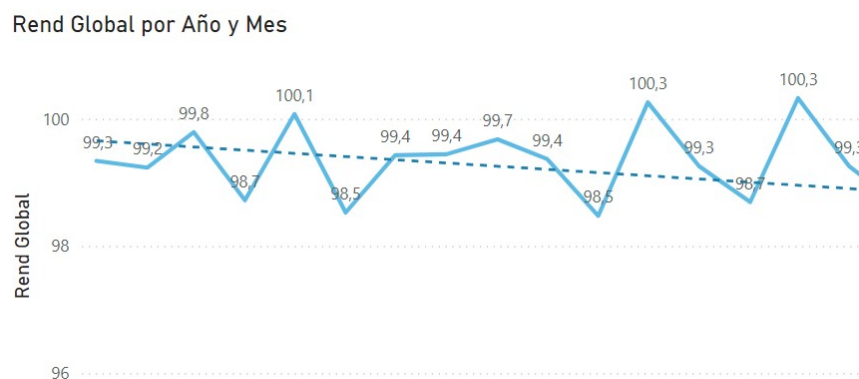
Comportamiento por tipo de obra



Nota: el grafico representa la participación del tipo de obra en la facturación mensual de Diaco de la operación de Diaco en Colombia. Elaboración propia

Gráfico 3

Rendimiento global de la operación de figuración de Diaco Ene 2023 – Ago 2024

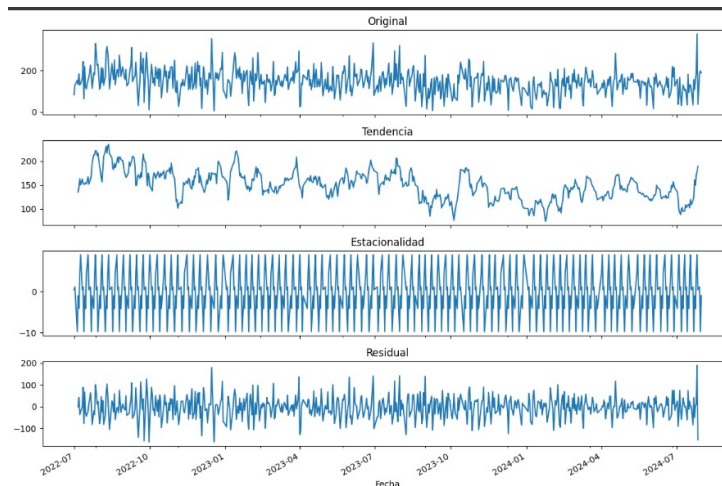


Nota: el grafico representa el comportamiento del indicador de rendimiento global de la operación de figuración de Diaco en el periodo Ene 2023 – Ago 2024. Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la tendencia del indicador del rendimiento metálico de la operación es negativa y tiene una correlación directa con el aumento de la participación de obras de infraestructura, las cuales tienen una alta participación de la familia FIGURADO GRUESO, se

Gráfico 5

Descomposición estacional de la variable Facturación diaria de pedidos Jul 2022 – Jul 2024



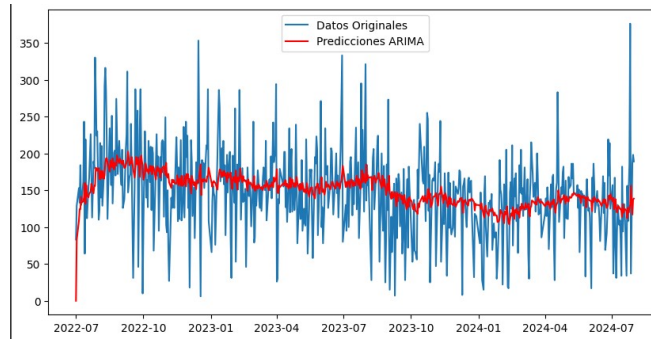
Nota: el grafico representa el comportamiento de tendencia, estacionalidad y ruido que presenta la facturación diaria de Diaco. Elaboración propia

Esta serie de tiempo muestra un comportamiento que tiene una estacionalidad muy clara, probablemente relacionada con ciclos semanales. Aunque hubo una tendencia a la baja, parece que la serie ha experimentado un repunte reciente.

Se realiza una simulación con un modelo ARIMA para intentar replicar el comportamiento de la variable como y se generó el resultado mostrado en el gráfico 6

Gráfico 6

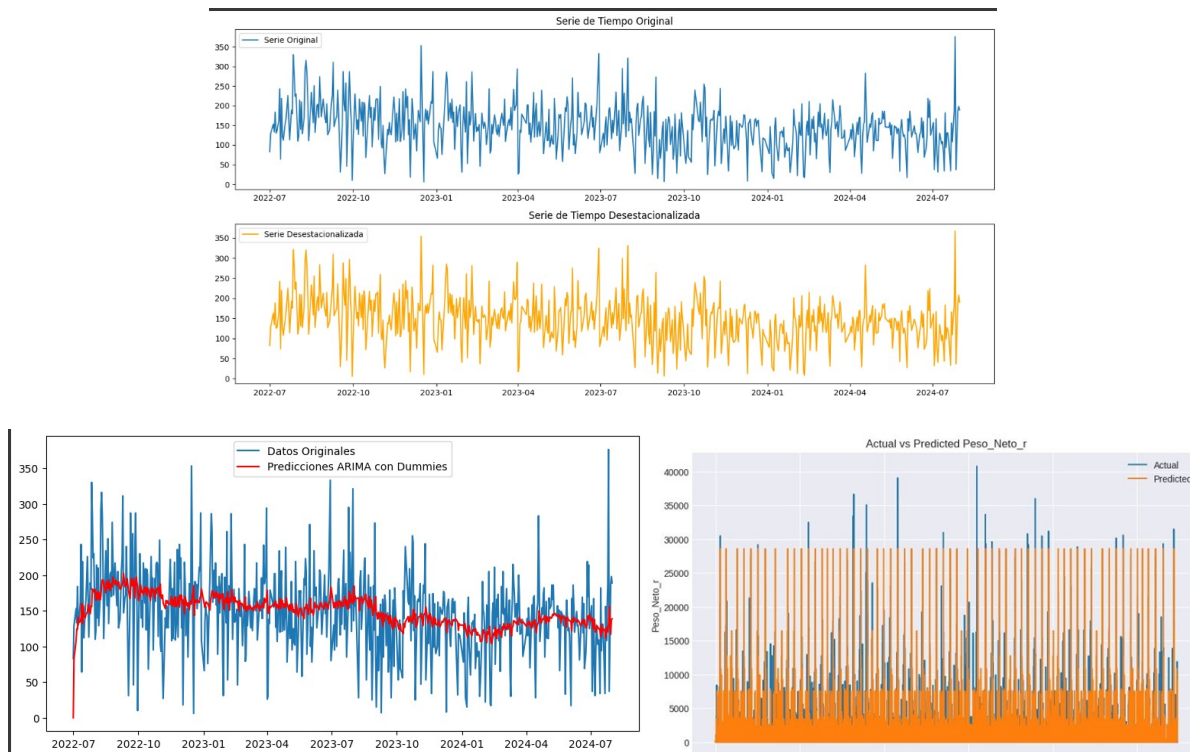
Descomposición estacional de la variable Facturación diaria de pedidos Jul 2022 – Jul 2024



Como podemos observar el comportamiento de las predicciones no logran pronosticar las estacionalidades presentes por tanto se realiza una simulación con un modelo SARIMAX

Gráfico 7

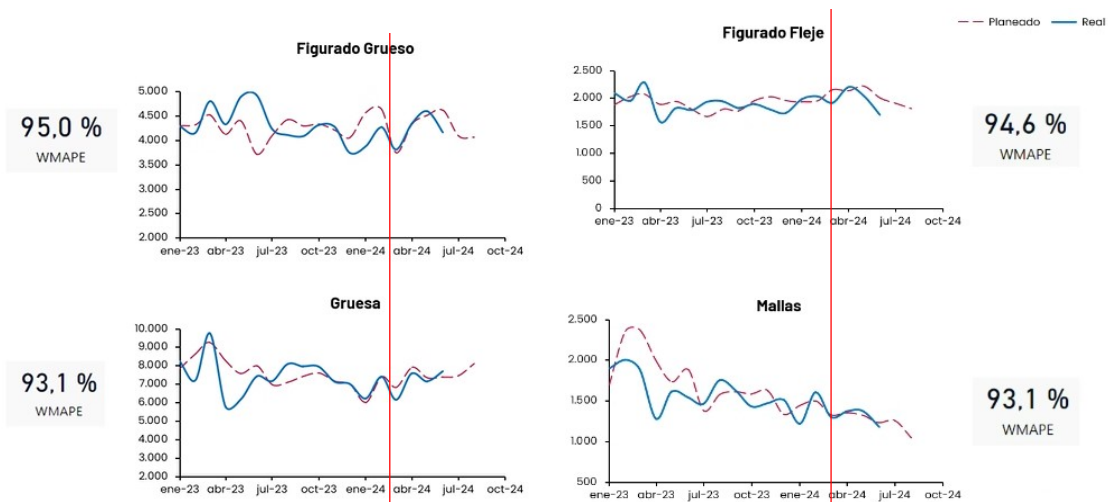
Serie desestacionalizada con modelo ARIMA SARIMAX



Con estos resultados es posible aplicar un modelo estadístico apoyado con IA, que incluya las variables analizadas en este documento, para poder asegurar la asertividad del plan de ventas mensual y mejorar el indicador de WMAPE. Esto apoyará la mejora en la planeación para así tener una mejor previsión de la materia prima a usar en la operación de figuración de Diaco.

Gráfico 8

Comportamiento del indicador WMAPE de facturación de Diaco analizado por familias de productos



Nota: el grafico representa el comportamiento del indicador WMAPE analizado por familias de producto

Elaboración propia

CONCLUSIONES

La inclusión de la inteligencia artificial (IA) en el proceso de desagregación ha demostrado ser una estrategia eficaz para mitigar las desviaciones que, de no gestionarse adecuadamente, podrían impactar significativamente los costos y la rentabilidad de la cadena de abastecimiento.

La capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos y optimizar decisiones en tiempo real contribuye a una mayor precisión en las previsiones, lo que se traduce en una mejora sustancial de los resultados operativos.

Además, los procesos de capacitación del personal involucrado en la construcción de pronósticos son fundamentales para asegurar una implementación efectiva y realizar ajustes rápidos cuando sea necesario. La participación activa y el entrenamiento constante de los equipos responsables permite una adaptación más ágil a las dinámicas cambiantes del mercado y a la evolución tecnológica en el área de la planificación.

La gobernanza y depuración de datos se presentan como pilares esenciales en la calidad de los modelos aplicados. Asegurar la integridad y precisión de los datos garantiza que las soluciones propuestas por los modelos sean las más adecuadas y ajustadas a la realidad operativa, reduciendo la probabilidad de errores o desviaciones no deseadas.

El desarrollo de modelos estadísticos ha mostrado ser una herramienta clave para mitigar las desviaciones tanto en la planificación como en la desagregación de los SKU (Stock Keeping Units). En particular, la implementación de modelos SARIMA con componentes estacionales semanales se ha identificado como una metodología robusta para capturar patrones recurrentes en las series temporales. No obstante, la incorporación de variables exógenas,

como promociones o eventos, podría mejorar aún más la precisión del modelo, dado que estos factores externos también pueden influir en el comportamiento de la demanda.

Finalmente, se sugiere un análisis adicional de los residuales del modelo para identificar posibles *outliers* o patrones no capturados que podrían estar afectando la previsión. Este enfoque contribuiría a una mayor precisión y ajuste del modelo, mejorando así la calidad de las decisiones basadas en los resultados del mismo.

REFERENCIAS

- Axsäter, S. (2022). *Introduction to inventory control*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-61509-8>
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2021). *Linear programming and network flows* (6th ed.). Wiley.
- Bendersky, M. (2021). *Operations management and information systems*. Wiley.
<https://www.wiley.com/en-us/Operations+Management+and+Information+Systems-p-9781119742401>
- Bhasin, S., & Burcher, P. (2021). Lean service: A guide to lean management principles for service organizations. *Journal of Service Science*, 13(1), 58-73.
<https://doi.org/10.1080/22773909.2021.2006345>
- Black, K., & Porter, J. (2021). *Business statistics: For contemporary decision making* (10th ed.). Wiley.
- Blackburn, J. D., Guide, V. D. R., & Souza, G. C. (2021). Reverse logistics: An overview of the theory and practice. *Supply Chain Management Review*, 22(3), 42-58.
<https://doi.org/10.1080/15450609.2021.2021743>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2021). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Time+Series+Analysis%3A+Forecasting+and+Control%2C+5th+Edition-p-9781119672740>
- Breiman, L. (2021). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Cachon, G. P., & Terwiesch, C. (2022). *Matching supply with demand: An introduction to operations management* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

<https://www.mheducation.com/highered/product/matching-supply-demand-introduction-operations-management-cachon-terwiesch/M9781264288105.html>

- Chiarini, A. (2022). *The Lean Six Sigma Guide to Doing More With Less: Cut Costs, Reduce Waste, and Lower Your Overhead*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429483617>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2023). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (8th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/supply-chain-management-strategy-planning-and-operation/P100000976150>
- Cimorelli, R., & Christian, J. (2021). Integrated production planning: New perspectives. *International Journal of Production Economics*, 243, 108390. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108390>
- Cohen, J., & Roussel, J. (2021). *Strategic supply chain management: The five core disciplines* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Christopher, M., & Peck, H. (2021). *Managing supply chain risk and resilience: A practical guide* (2nd ed.). Kogan Page.
- Crainic, T. G., & Kim, K. H. (2021). *Multimodal transportation: Concepts and applications*. Springer.
- Daganzo, C. F. (2021). *Logistics systems analysis* (2nd ed.). Springer.
- De Gooijer, J. G., & Hyndman, R. J. (2021). *Forecasting with exponential smoothing: The state space approach* (3rd ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-41037-2>
- Diaz, R., & Giraud, N. (2021). *Strategic inventory management*. Routledge. <https://www.routledge.com/Strategic-Inventory-Management/Diaz-Giraud/p/book/9780367333076>

- Emiliani, M. L. (2021). *Lean and green: A systematic approach to improve environmental performance*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58091-3>
- Fildes, R., Goh, T. N., & Lie, J. H. (2021). Forecasting methods for supply chain planning. *International Journal of Forecasting*, 37(3), 761-773. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.01.012>
- Flynn, B. B., Huo, B., & Zhao, X. (2023). The impact of supply chain management practices on competitive advantage. *Journal of Operations Management*, 72(3), 245-263. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2021.09.002>
- Gardner, E. S. (2023). Exponential smoothing: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 39(2), 235-252. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.12.007>
- Gass, S. I. (2020). *Introduction to linear optimization*. Springer.
- Goldratt, E. M. (2020). *The goal: A process of ongoing improvement* (4th ed.). North River Press.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (2021). *The goal: A process of ongoing improvement* (4th ed.). North River Press.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2023). *Deep learning* (2nd ed.). MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262038036/deep-learning/>
- Gong, Y., & Zhang, J. (2021). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/supply-chain-management-strategy-planning-and-operation/P100000880068>
- Graham, G. (2023). *Inventory management: Principles and practice*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Inventory+Management%3A+Principles+and+Practice-p-9781119748235>

- Guide, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2021). *Sustainable operations management*. Springer.
- Harris, C., & Davies, J. (2022). JIT and its impact on supply chain management. *Journal of Operations Management*, 41(4), 207-223. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2022.04.002>
- Haykin, S. (2022). *Neural networks and learning machines* (4th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/neural-networks-and-learning-machines/P100000975865>
- Hendricks, K. B. (2022). The impact of inventory management on firm performance. *Operations Research*, 70(1), 12-26. <https://doi.org/10.1287/opre.2022.2317>
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2022). *Introduction to operations research* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2022). *Factory physics for managers: How leaders improve performance in a post-lean six sigma world* (3rd ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/factory-physics-managers-hopp-spearman/M9781259637360.html>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>
- Inman, R. A., & Mehra, S. (2022). *Production and operations management*. Routledge.
- Jacobs, F. R., & Weston, J. F. (2021). *Manufacturing planning and control for supply chain management* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Johnson, R. A., & Lee, K. (2019). *Advanced data analysis with Excel and Power BI*. CRC Press.
- Johnson, R. A., Smith, A. B., & Chen, Z. (2020). *Statistical methods for data analysis in business*. Springer.

- Khashei, M., & Bijari, M. (2020). A novel hybrid method for time series forecasting. *Applied Mathematical Modelling*, 80, 108-127. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.09.032>
- Kelle, P., & Mills, J. (2022). *Managing inventory in the supply chain*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61256-1>
- Khouja, M. (2020). *Material requirements planning: Theory and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30465-3>
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., & Ritzman, L. P. (2022). *Operations management: Processes and supply chains* (12th ed.). Pearson.
- Linn, R. (2021). *Data analysis and statistical methods for management*. Wiley.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2022). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). Wiley.
- Narayanan, V. G., & Raman, A. (2022). *Managing business process flows: Principles of operations management* (5th ed.). Pearson.
- Nicolai, J., & Lind, J. (2022). *Optimal inventory management*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429264980>
- O'Brien, J. J., & Marakas, G. M. (2021). *Management information systems* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Petersen, J., & Sweeney, D. (2022). *Essentials of inventory management*. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Essentials+of+Inventory+Management-p-9781119710924>
- Peyton, A. (2022). *Production planning and control*. Springer.
- Pólya, G. (2020). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press.
- Rao, A. R. (2022). *Mathematical modeling and optimization in operations research*. Springer.

- Rardin, R. L. (2020). *Optimization in operations research* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Soderberg, A. (2021). *Simulation modeling and analysis*. McGraw-Hill Education.
- Stevenson, W. J. (2023). *Operations management* (14th ed.). McGraw-Hill Education.
- Vargas, J. A. (2022). *Logistics and supply chain management*. Springer.
- Wagner, S. M., & Ahi, P. (2022). *Managing supply chain risk*. Routledge.
- Wang, Y., & Zhang, Y. (2022). *Advanced supply chain management*. Wiley.
<https://www.wiley.com/en-us/Advanced+Supply+Chain+Management-p-9781119796825>
- Williams, J., & Lazer, P. (2022). *Introduction to logistics and supply chain management*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367334523>