

OPCIÓN DE GRADO

**PRONOSTICADOR DE DEMANDA: APLICATIVO QUE GENERA LA
EVALUACIÓN DE 3 MODELOS ESTADÍSTICOS ESTABLECIENDO EL
VALOR ÓPTIMO.**

Presentado por:
Tomás Rodríguez Molina

Facultad de Ingeniería en Logística y Operaciones
Universidad Santo Tomás
Bogotá D.C Colombia
2025

OPCIÓN DE GRADO

**PRONOSTICADOR DE DEMANDA: APLICATIVO QUE GENERA LA
EVALUACIÓN DE 3 MODELOS ESTADÍSTICOS ESTABLECIENDO EL
VALOR ÓPTIMO.**

Presentado por:
Tomás Rodríguez Molina

Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniería en Logística y operaciones

Docente del trabajo de grado:

Facultad de Ingeniería en Logística y Operaciones
Universidad Santo Tomás
Bogotá D.C Colombia
2025

Nota de aceptación

Decano en Logística y operaciones

Tutor universidad

Evaluador

Bogotá, _____

Resumen / Abstract

La presente investigación tiene como propósito desarrollar un aplicativo de pronóstico de demanda para la empresa Conalca S.A.S., con el fin de optimizar la planificación de la capacidad instalada en los puertos marítimos colombianos y fortalecer la toma de decisiones logísticas y comerciales. Este proyecto surge ante la necesidad de contar con herramientas tecnológicas que permitan anticipar la demanda de servicios logísticos, mejorar la eficiencia operativa y reducir los niveles de incertidumbre en la gestión de recursos.

Para lograrlo, el estudio se fundamenta en la aplicación comparativa de tres modelos matemáticos de pronóstico regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble, seleccionados por su capacidad para adaptarse a diferentes comportamientos de las series de tiempo y ofrecer resultados precisos y confiables. Estos modelos se integran dentro de un aplicativo computacional diseñado a medida, cuyo objetivo es automatizar el proceso de predicción, facilitar la interpretación de resultados y proporcionar reportes visuales de apoyo a la planeación logística.

El desarrollo del aplicativo busca vincular la teoría estadística con la práctica empresarial, permitiendo a Conalca optimizar la utilización de su capacidad instalada, ajustar su oferta de servicios según la demanda proyectada y fortalecer la atención al cliente mediante información predictiva y validada. Como resultado, se espera mejorar la eficiencia de los procesos operativos, aumentar la competitividad de la empresa y generar un aporte académico en el campo del modelamiento cuantitativo en logística portuaria.

De acuerdo con (Chopra & Meindl, 2019), el pronóstico de la demanda constituye el pilar central de la planeación de la cadena de suministro, ya que permite anticipar la necesidad de recursos y reducir los costos asociados a la incertidumbre. De manera similar, (Silver & Pyke, Peterson, 2016) sostienen que la aplicación de modelos estadísticos

adecuados puede mejorar significativamente la exactitud de las proyecciones y la eficiencia de la gestión operativa. En el ámbito nacional, (Vidal et al., 2018) enfatizan la relevancia de integrar metodologías cuantitativas en la gestión logística como elemento clave para la priorización y ejecución eficiente de proyectos empresariales.

En síntesis, este trabajo constituye un esfuerzo aplicado para trasladar las técnicas de pronóstico matemático al contexto real de la logística portuaria colombiana, aportando una herramienta tecnológica innovadora que potencia la capacidad de decisión, la eficiencia operativa y la competitividad de Conalca en un entorno de creciente complejidad e incertidumbre logística.

Palabras clave:

Pronóstico de demanda, modelos matemáticos, regresión lineal, promedio móvil ponderado, suavización exponencial doble, logística portuaria, capacidad instalada, Conalca S.A.S.

Abstract

This research aims to develop a demand forecasting application for Conalca S.A.S., with the purpose of optimizing installed capacity planning in Colombian seaports and enhancing logistical and commercial decision-making. The project arises from the need to implement technological tools that enable demand anticipation, improve operational efficiency, and reduce uncertainty in resource management.

To achieve this, the study is based on the comparative application of three mathematical forecasting models—linear regression, weighted moving average, and double exponential smoothing—selected for their ability to capture different time-series behaviors and deliver accurate and reliable results. These models are integrated into a custom

computational application designed to automate forecasting processes, facilitate interpretation, and generate visual analytical reports for strategic decision-making.

The development of this system seeks to bridge statistical theory with business practice, allowing Conalca to optimize resource utilization, align service capacity with projected demand, and strengthen customer service through validated predictive information. As an outcome, the project aims to enhance operational efficiency, increase organizational competitiveness, and contribute academically to the field of quantitative modeling in port logistics.

According to (Chopra & Meindl, 2019), demand forecasting is a cornerstone of supply chain planning, as it enables companies to anticipate resource needs and reduce costs associated with uncertainty. Similarly, (Silver, Pyke, & Peterson, 2016) highlight that appropriate statistical models can significantly improve the accuracy of projections and operational performance. In the Colombian context, (Vidal et al., 2018) emphasize the importance of integrating quantitative methodologies in logistics management as a key factor for efficient project prioritization and execution.

In summary, this study represents an applied effort to translate mathematical forecasting techniques into the real context of Colombian port logistics, providing an innovative technological tool that enhances decision-making, operational efficiency, and competitiveness for Conalca S.A.S. in an increasingly complex and uncertain logistics environment.

Keywords:

Demand forecasting, mathematical models, linear regression, weighted moving average, double exponential smoothing, port logistics, installed capacity, Conalca S.A.S.

Tabla de contenido

Resumen / Abstract	4
Tabla de contenido	7
Línea de investigación: Modelamiento en Logística y Operaciones	8
Introducción	9
Planteamiento del problema	12
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos específicos	15
Alcance o delimitación	16
Marco teórico	22
Marco conceptual	30
Resultados esperados / hallazgos	38
Discusión	50
Conclusiones	53
Recomendaciones	56
Referencias	58

Línea de investigación: Modelamiento en Logística y Operaciones

El presente proyecto se adscribe a la línea de investigación de Modelamiento en Logística y Operaciones, cuyo propósito es desarrollar y aplicar modelos cuantitativos que permitan analizar, simular y optimizar procesos logísticos. Esta línea se fundamenta en la premisa de que las organizaciones, al enfrentarse a entornos inciertos y dinámicos, requieren de herramientas que faciliten la toma de decisiones bajo criterios objetivos y sustentados en datos (Guerrero & Zapata, 2020).

Dentro de este campo, el pronóstico de la demanda constituye un área clave, ya que es el punto de partida para decisiones relacionadas con la producción, el almacenamiento, el transporte y la asignación de recursos humanos y tecnológicos. Una predicción deficiente puede llevar a la sobreutilización o subutilización de la capacidad instalada, generando pérdidas económicas y deterioro en la calidad del servicio al cliente (Mentzer & Moon, 2004).

El modelamiento aplicado en este proyecto contempla la implementación de modelos estadísticos de series de tiempo y técnicas de suavización, ampliamente documentados en la literatura especializada como herramientas eficaces para anticipar tendencias de consumo y fluctuaciones de la demanda (Makridakis et al., 1998; Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

De esta manera, la investigación busca integrar teoría y práctica, aportando tanto a la validación académica de los modelos como a la mejora de los procesos logísticos de Conalca. Al vincular directamente el modelamiento matemático con la gestión operativa en los puertos marítimos, se evidencia la pertinencia del proyecto en esta línea de investigación y su potencial para convertirse en un referente aplicado en el ámbito empresarial.

Introducción

La planificación de la demanda se ha consolidado como un componente estratégico esencial para la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones, especialmente en sectores donde la eficiencia depende de la adecuada sincronización entre la oferta y la demanda. En el ámbito de la logística portuaria, caracterizado por la variabilidad de los volúmenes de carga, la estacionalidad de los flujos comerciales y la interacción de múltiples factores externos, contar con herramientas de pronóstico precisas se convierte en un factor determinante para la optimización de recursos y la mejora del servicio al cliente (Simchi-Levi et al., 2021).

En este contexto, la empresa Conalca enfrenta el desafío de fortalecer la precisión de sus proyecciones de demanda en los servicios logísticos que presta en los puertos marítimos del país. Hasta ahora, las decisiones operativas y comerciales se han basado principalmente en la experiencia e intuición del personal, lo que ha generado incertidumbre en la asignación de contenedores, utilización de la capacidad instalada y planificación de los recursos. Esta situación limita la posibilidad de brindar una atención oportuna y confiable al cliente, afectando directamente la eficiencia operativa y las oportunidades de crecimiento en ventas (Guerrero & Zapata, 2020).

La literatura especializada ha demostrado que el pronóstico de la demanda es la base para procesos clave como la planificación de la producción, la gestión de inventarios, la programación del transporte y la proyección de la capacidad operativa (Heizer et al., 2020; Chopra & Meindl, 2019). Para ello, se han desarrollado diversos enfoques y modelos, desde métodos cualitativos hasta técnicas cuantitativas de series de tiempo que permiten detectar patrones, tendencias y estacionalidades en los datos históricos (Makridakis et al., 1998; Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Sin embargo, considerando el enfoque práctico del aplicativo que se busca desarrollar y la necesidad de medir y aprovechar de forma óptima la capacidad instalada, este trabajo se concentrará en tres modelos de pronóstico con alta aplicabilidad y capacidad explicativa: regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble. Estos modelos no solo ofrecen precisión y adaptabilidad a las variaciones de la demanda, sino que también facilitan su integración en sistemas automatizados de apoyo a la toma de decisiones. La regresión lineal permite identificar relaciones entre variables y tendencias generales; el promedio móvil ponderado da mayor relevancia a los datos más recientes, capturando cambios graduales; y la suavización exponencial doble es ideal para detectar comportamientos de crecimiento o decrecimiento sostenido en el tiempo, fundamentales para anticipar necesidades de capacidad (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

El desarrollo del aplicativo de pronóstico de demanda basado en estos tres modelos busca dotar a Conalca de una herramienta tecnológica que permita evaluar, comparar y seleccionar el método más adecuado según los patrones de comportamiento de su demanda real. Con ello, se espera fortalecer la planificación logística, optimizar la asignación de contenedores en los puertos marítimos y garantizar una atención al cliente más precisa y eficiente.

La relevancia de este trabajo trasciende el ámbito operativo, ya que combina la aplicación práctica de métodos cuantitativos con la gestión estratégica de la capacidad instalada, aportando tanto a la mejora continua de los procesos empresariales como al desarrollo académico del modelamiento logístico. En consecuencia, este estudio no solo ofrecerá a Conalca una solución técnica sustentada en el análisis de datos, sino que también contribuirá a la construcción de conocimiento aplicado sobre cómo los modelos de pronóstico



UNIVERSIDAD
SANTOTOMÁS
—SEDE PRINCIPAL BOGOTÁ—

pueden transformarse en herramientas decisivas para la competitividad y el crecimiento sostenible (Mentzer & Moon, 2004; Ballou, 2004).

Planteamiento del problema

En el entorno empresarial contemporáneo, caracterizado por una competencia creciente, cadenas de suministro globalizadas y fluctuaciones constantes en la demanda, la capacidad de anticipar las necesidades del mercado se ha convertido en un factor decisivo para la sostenibilidad y la rentabilidad de las organizaciones (Arias, 2012). La planificación de la demanda no solo determina la eficiencia operativa, sino que también influye directamente en la percepción de confianza y cumplimiento que los clientes depositan en las empresas. Una proyección inexacta puede generar incumplimientos contractuales, sobrecostos logísticos y deterioro en las relaciones comerciales, afectando de manera directa la competitividad (Ballou, 2004).

En el caso de Conalca, empresa dedicada a la prestación de servicios logísticos en los puertos marítimos de Colombia, se ha identificado una problemática recurrente que compromete la eficiencia y la satisfacción del cliente. Los asesores comerciales, al comprometer volúmenes de movimiento de contenedores con los clientes, lo hacen con base en estimaciones subjetivas y sin una medición cuantitativa precisa de la capacidad instalada real. Este desajuste entre la promesa de servicio y la capacidad operativa provoca incumplimientos en la entrega, utilización ineficiente de recursos, pérdida de oportunidades de negocio y, en consecuencia, un deterioro en la reputación corporativa (Guerrero & Zapata, 2020).

La literatura en gestión logística resalta que la planeación de la capacidad depende directamente de la confiabilidad de los pronósticos de demanda, los cuales permiten anticipar escenarios, asignar recursos de manera óptima y diseñar estrategias de atención que garanticen el cumplimiento de compromisos (Heizer et al., 2020; Chopra & Meindl, 2019). Sin embargo, la realidad operativa de Conalca evidencia la ausencia de una herramienta

formal de pronóstico basada en modelos matemáticos que traduzcan los datos históricos en información estratégica. Esta carencia limita la toma de decisiones en la gestión de contenedores, la programación de transporte marítimo y la asignación de personal y equipos en los puertos.

Inicialmente, se consideró la evaluación de siete modelos de pronóstico para atender esta problemática; no obstante, tras una revisión del enfoque y del propósito práctico del aplicativo propuesto, se decidió concentrar el estudio en tres modelos de mayor relevancia analítica y aplicabilidad logística: regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble.

Estos modelos fueron seleccionados por su capacidad para capturar tendencias, variaciones y comportamientos evolutivos en los datos históricos, factores fundamentales para proyectar la demanda de servicios logísticos y medir la capacidad instalada disponible.

La regresión lineal permite identificar relaciones entre variables que inciden en la demanda; el promedio móvil ponderado otorga mayor importancia a los datos recientes, capturando los cambios en la dinámica operativa; mientras que la suavización exponencial doble es ideal para anticipar tendencias ascendentes o descendentes sostenidas, facilitando una planificación proactiva de los recursos (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

La falta de un sistema de pronóstico confiable ha generado en Conalca escenarios de sobrecapacidad o subutilización, que afectan tanto la productividad como la calidad del servicio. La promesa de volúmenes de operación superiores a la capacidad instalada genera incumplimientos contractuales y pérdida de credibilidad ante los clientes, mientras que la subestimación de la demanda conduce a oportunidades desaprovechadas y disminución en las ventas. En ambos casos, se compromete la eficiencia operativa, la rentabilidad y la sostenibilidad organizacional.

De acuerdo con Sampieri (2014), los proyectos de modelamiento cuantitativo deben orientarse no solo a resolver un problema operativo, sino también a generar conocimiento aplicable y replicable en otros contextos. En esa línea, el desarrollo de un aplicativo de pronóstico de demanda sustentado en los tres modelos matemáticos mencionados no solo permitirá a Conalca tomar decisiones más informadas, sino que además ofrecerá una base metodológica que podría aplicarse a otros procesos logísticos como el manejo de inventarios, la programación de despachos y la planificación de la producción.

En síntesis, la problemática central radica en la ausencia de un sistema formal, cuantitativo y automatizado de pronóstico de demanda que permita a Conalca planificar su capacidad instalada de forma precisa, garantizar una atención al cliente confiable y fortalecer su posición competitiva en el sector portuario colombiano. La implementación de un aplicativo basado en los modelos de regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble se plantea como una solución viable, robusta y orientada a resultados, capaz de reducir los errores de pronóstico, optimizar la asignación de contenedores y mejorar significativamente la satisfacción del cliente y la eficiencia logística.

¿Cómo incide la implementación de un aplicativo de pronóstico de demanda basado en regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble en la mejora de la planificación de la capacidad instalada y la asignación de contenedores en Conalca S.A.S., contribuyendo a una mayor eficiencia logística y al fortalecimiento de la atención al cliente en los puertos marítimos colombianos?

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un aplicativo de pronóstico de demanda para la empresa Conalca, basado en los modelos de regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble, con el fin de optimizar la planificación de la capacidad instalada en los puertos marítimos, mejorar la atención al cliente y fortalecer la toma de decisiones logísticas mediante información proyectada y confiable.

Objetivos específicos

1. Analizar el comportamiento histórico de la demanda logística y la utilización de la capacidad instalada en los puertos marítimos atendidos por Conalca, identificando patrones, tendencias y factores determinantes que influyen en la variabilidad de la demanda y en la eficiencia operativa.
2. Desarrollar los modelos matemáticos de regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble, evaluando su precisión, error de pronóstico y capacidad de adaptación a los datos históricos de la empresa, con el propósito de seleccionar el modelo más adecuado para la proyección de la demanda.
3. Simular un aplicativo de pronóstico de demanda que integre el modelo seleccionado, permitiendo automatizar la estimación de volúmenes futuros, apoyar la planificación de la capacidad instalada y mejorar la gestión comercial y de servicio al cliente de Conalca.

Alcance o delimitación

El presente proyecto tiene como alcance principal el desarrollo, evaluación e implementación de un aplicativo de pronóstico de demanda diseñado específicamente para la empresa Conalca S.A.S., dedicada a la prestación de servicios logísticos en puertos marítimos colombianos.

Este aplicativo permitirá a la organización medir, anticipar y planificar su capacidad instalada con base en modelos matemáticos de predicción cuantitativa, orientando la toma de decisiones estratégicas y operativas hacia una gestión logística más eficiente, confiable y competitiva.

1. Alcance conceptual

El proyecto se centra en la aplicación de tres modelos de pronóstico regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble seleccionados por su pertinencia metodológica y su capacidad para representar comportamientos de tendencia, fluctuación y evolución de la demanda logística.

El desarrollo del aplicativo busca integrar estos modelos en una interfaz digital funcional que permita:

- Procesar datos históricos de demanda.
- Generar proyecciones automáticas de volúmenes futuros de operación.
- Comparar los resultados de los modelos aplicados.
- Facilitar la interpretación y visualización de los pronósticos para su uso en la planeación de recursos.

El enfoque conceptual está alineado con los fundamentos de la analítica predictiva aplicada a la logística y los sistemas de apoyo a la decisión (DSS), asegurando que el aplicativo sirva como una herramienta práctica y académicamente sustentada para el mejoramiento de la planeación operativa en entornos portuarios.

2. Alcance operativo

Desde la perspectiva operativa, el proyecto se enfocará en las siguientes actividades:

1. Recolección y depuración de datos históricos de demanda de servicios logísticos de Conalca, correspondientes a los volúmenes de contenedores movilizados en los puertos marítimos colombianos durante los últimos años.
2. Análisis estadístico descriptivo de las series temporales, con el fin de identificar patrones, estacionalidades y tendencias relevantes para la modelación.
3. Aplicación y comparación de los tres modelos seleccionados, evaluando su precisión mediante métricas de error como MAPE, RMSE o MAD, para determinar cuál ofrece los resultados más confiables.
4. Diseño y desarrollo del aplicativo computacional que integre los tres modelos, mediante una interfaz amigable que permita ingresar datos, ejecutar los modelos y generar reportes visuales de pronóstico.
5. Validación práctica del aplicativo mediante pruebas piloto con datos reales de Conalca, evaluando su utilidad en la planificación de capacidad instalada y en la mejora de la toma de decisiones comerciales y operativas.

Este alcance operativo no contempla la intervención directa en la infraestructura física o tecnológica de los puertos, ni la automatización completa de los procesos logísticos, sino el

desarrollo de una herramienta predictiva de soporte analítico para la planificación de demanda y capacidad.

3. Alcance temporal

El proyecto está diseñado para desarrollarse en un periodo académico de investigación aplicada, estructurado en tres fases:

- Fase 1: Recolección de información y análisis histórico de la demanda.
- Fase 2: Aplicación y comparación de los tres modelos de pronóstico.
- Fase 3: Desarrollo del aplicativo, validación de resultados y propuesta de implementación.

Cada fase se desarrollará de manera secuencial, garantizando la trazabilidad de los resultados y la coherencia entre el análisis técnico y la funcionalidad final del sistema.

4. Alcance geográfico

El estudio se circunscribe al contexto operativo de Conalca S.A.S. en los puertos marítimos de Colombia, donde la empresa realiza actividades logísticas relacionadas con el movimiento, almacenamiento y transporte de contenedores.

Aunque los resultados del modelo y del aplicativo son diseñados específicamente para las condiciones y datos de Conalca, su metodología y estructura pueden replicarse o adaptarse en otras empresas del sector logístico portuario con características similares.

5. Alcance tecnológico

El desarrollo del aplicativo se realizará utilizando herramientas de programación y análisis de datos que garanticen eficiencia, escalabilidad y usabilidad. Se emplearán entornos de desarrollo y bibliotecas estadísticas para la implementación de los modelos de pronóstico,

priorizando la compatibilidad con los sistemas informáticos existentes en la empresa y la posibilidad de exportar resultados en formatos accesibles (por ejemplo, Excel o CSV).

El aplicativo no busca sustituir los sistemas de gestión operativa de Conalca (como ERP o WMS), sino complementarlos mediante un módulo analítico que brinde información predictiva para la toma de decisiones.

6. Alcance académico y científico

En el ámbito académico, el proyecto busca aportar evidencia empírica sobre la aplicación de modelos matemáticos de pronóstico en entornos logísticos reales, contribuyendo a la literatura sobre planeación de capacidad y demanda en el contexto portuario colombiano. El estudio servirá como caso aplicado de modelamiento cuantitativo en logística, demostrando la relevancia de los métodos estadísticos y computacionales en la gestión eficiente de recursos.

Desde el punto de vista científico, se promueve la validación de modelos predictivos en escenarios de incertidumbre operativa, fortaleciendo la relación entre la teoría y la práctica empresarial.

7. Delimitaciones del proyecto

Para garantizar un enfoque claro y realista, el proyecto se delimita en los siguientes términos:

- Temporalmente, se considerarán los datos históricos disponibles correspondientes a los últimos tres a cinco años, dependiendo de la consistencia de la información suministrada por Conalca.

- Temáticamente, el estudio se centra exclusivamente en el pronóstico de la demanda de servicios logísticos y la planificación de la capacidad instalada, sin abordar temas financieros, de marketing o de diseño físico de la red portuaria.
- Metodológicamente, se trabajará únicamente con tres modelos de pronóstico: regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble, excluyendo otros enfoques como redes neuronales, modelos ARIMA o aprendizaje automático.
- Operativamente, el proyecto se limita al diseño funcional del aplicativo y la validación de resultados mediante datos reales, sin contemplar la integración directa con sistemas empresariales en tiempo real.
- Geográficamente, la aplicación se restringe al contexto de los puertos marítimos colombianos donde Conalca opera, sin extenderse a terminales terrestres o internacionales.

8. Resultados esperados

Como resultado del alcance establecido, se espera que el proyecto:

1. Genere un aplicativo funcional que integre los tres modelos de pronóstico seleccionados, con interfaz clara y reportes automáticos.
2. Permita estimar con mayor precisión la demanda futura, reduciendo la incertidumbre en la planificación operativa.
3. Facilite la gestión eficiente de la capacidad instalada, evitando sobrecargas o subutilización de recursos.

4. Mejore la toma de decisiones comerciales y logísticas mediante información predictiva confiable.
5. Contribuya al fortalecimiento académico y técnico del campo de la logística portuaria en Colombia.

Conclusión del alcance

En síntesis, el proyecto se delimita al diseño, implementación y validación de un aplicativo de pronóstico de demanda basado en tres modelos matemáticos, orientado a mejorar la planificación logística y la atención al cliente de Conalca.

No se busca reemplazar los sistemas existentes ni modificar las estructuras operativas de la empresa, sino proveer una herramienta cuantitativa de apoyo que permita tomar decisiones más informadas, precisas y sostenibles, consolidando a Conalca como una organización más eficiente y competitiva dentro del sector logístico portuario.

Marco teórico

1. Introducción general

El pronóstico de la demanda constituye un componente esencial dentro de la gestión logística y de operaciones, ya que permite anticipar el comportamiento futuro del mercado, optimizar la capacidad instalada y mejorar la asignación de recursos (Heizer et al., 2020). Según (Chopra & Meindl, 2019), una estimación precisa de la demanda posibilita la sincronización entre oferta y demanda, reduciendo costos asociados al exceso o falta de capacidad, y aumentando la satisfacción del cliente.

La predicción de la demanda se define como el proceso mediante el cual se estima el nivel esperado de ventas o requerimientos de servicios en un periodo futuro, a partir del análisis de datos históricos y la identificación de patrones, tendencias o relaciones causales (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Este proceso no solo se limita al ámbito productivo, sino que impacta transversalmente la gestión comercial, financiera y estratégica de las organizaciones.

De acuerdo con (Fatima & Rahimi, 2024), en entornos empresariales caracterizados por alta volatilidad como el logístico portuario la predicción de la demanda adquiere un papel estratégico al permitir decisiones más informadas sobre planificación de recursos, compras, transporte y servicio al cliente. En este sentido, la empresa Conalca, dedicada a la logística portuaria, requiere fortalecer su capacidad para anticipar la demanda de servicios y así garantizar el uso eficiente de su capacidad instalada, optimizando la asignación de contenedores y evitando la sobreutilización o subutilización de los recursos disponibles.

La literatura clasifica los métodos de pronóstico en dos grandes enfoques: cualitativos y cuantitativos. Los primeros se basan en juicios de expertos, experiencia o percepciones

subjetivas del entorno, siendo útiles cuando se dispone de poca información histórica (Mentzer & Moon, 2004). Por su parte, los métodos cuantitativos emplean datos históricos y herramientas estadísticas o matemáticas para proyectar tendencias futuras, siendo estos los más apropiados para la automatización en sistemas o aplicativos tecnológicos (Makridakis et al., 1998).

Entre los métodos cuantitativos destacan aquellos basados en series temporales, en los cuales se analiza el comportamiento pasado de una variable para inferir su comportamiento futuro (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Dado que la demanda de Conalca presenta características temporales asociadas a ciclos de importación, temporadas de comercio exterior y patrones de flujo portuario, los modelos de series temporales resultan especialmente apropiados para su análisis.

2. Capacidad instalada y planificación logística

El concepto de capacidad instalada hace referencia al volumen máximo de producción o prestación de servicios que una organización puede lograr utilizando plenamente sus recursos disponibles como infraestructura, personal, equipos y tecnología en un periodo determinado (Ballou, 2004). En el contexto logístico, esta capacidad determina el número máximo de contenedores o cargas que pueden ser movilizados de manera eficiente desde los puertos.

La planificación de la capacidad busca alinear la oferta operativa con la demanda esperada, de modo que se logre un equilibrio entre eficiencia y nivel de servicio (Guerrero & Zapata, 2020). Si la demanda supera la capacidad instalada, se generan retrasos, incumplimientos y sobrecostos; mientras que, si la capacidad excede la demanda, se incurre en desperdicio de recursos y pérdida de rentabilidad (Arias, 2012).

Por ello, disponer de un sistema de pronóstico confiable es un prerequisite para la toma de decisiones estratégicas en logística portuaria, ya que posibilita dimensionar los recursos humanos y materiales necesarios para atender la demanda proyectada. En consecuencia, el aplicativo propuesto en esta investigación busca dotar a Conalca de una herramienta de soporte a la decisión que relacione los resultados de los modelos matemáticos con la planificación de su capacidad operativa, orientada hacia la eficiencia y la satisfacción del cliente.

3. Modelos matemáticos seleccionados

Tras el análisis preliminar y la revisión de la pertinencia técnica, se definió que el aplicativo se centrará en tres modelos cuantitativos: regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble (Holt). Estos modelos fueron seleccionados por su capacidad para representar distintos comportamientos de la demanda y por su aplicabilidad práctica en sistemas de predicción automatizados.

3.1.Regresión lineal

El modelo de regresión lineal permite establecer una relación funcional entre una variable dependiente (la demanda) y una o varias variables independientes (por ejemplo, tiempo, estacionalidad, o indicadores operativos). En su forma más simple, la regresión lineal puede expresarse como:

En su forma más simple, la regresión lineal se expresa como:

$$y^{\wedge}_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t$$

donde:

- $y^{\wedge}_t$: demanda pronosticada en el periodo t

- t : tiempo o variable explicativa.
- β_0 : intercepto (nivel inicial de la demanda)
- β_1 : coeficiente de tendencia (pendiente)
- ε : término de error

Este modelo asume una tendencia lineal en la serie temporal de la demanda, siendo apropiado cuando se observa un crecimiento o decrecimiento sostenido en el tiempo (Montgomery et al., 2021).

Según Yuan (2023), la regresión lineal presenta un excelente desempeño en sectores logísticos cuando existen relaciones consistentes entre el tiempo y los volúmenes operativos, debido a su interpretabilidad y facilidad de implementación. En el contexto de Conalca, la regresión lineal permitirá identificar la tendencia general del flujo de contenedores a lo largo del tiempo, proporcionando una base para planificar incrementos o ajustes en la capacidad instalada.

Ventajas:

- Ofrece interpretabilidad estadística y capacidad explicativa.
- Requiere bajo nivel de complejidad computacional.
- Permite integrar variables externas, como condiciones económicas o volúmenes de importación/exportación.

Desventajas:

- No capta comportamientos no lineales ni estacionales.
- Puede generar errores si existen cambios estructurales o eventos atípicos.

Por su solidez y adaptabilidad, la regresión lineal constituye una herramienta base en el aplicativo, especialmente para identificar tendencias y comportamientos de crecimiento de la demanda logística.

3.2. Promedio móvil ponderado (Weighted Moving Average – WMA)

El modelo de promedio móvil ponderado constituye una técnica de suavización que asigna diferentes pesos a los valores históricos de la demanda, dando mayor relevancia a los datos más recientes. Su fórmula general es:

$$y^{\wedge}_t + 1 = \sum_{j=0}^{m-1} w_j y_{t-j}$$

DONDE

$$\sum_{j=0}^{m-1} w_j = 1$$

donde:

- y_{t-j} : son los valores históricos de la demanda,
- w_j : son los pesos asignados a cada periodo (con $\sum w_j = 1$).

A diferencia del promedio móvil simple, el modelo ponderado prioriza la información reciente, lo que lo hace más sensible a cambios de corto plazo (Makridakis et al., 1998). Esta característica es relevante para Conalca, dado que las operaciones portuarias pueden verse influenciadas por fluctuaciones estacionales, campañas comerciales o alteraciones en la cadena de suministro global.

Ventajas:

- Mayor adaptabilidad ante variaciones recientes de la demanda.
- Fácil implementación y comprensión operativa.
- Adecuado para sistemas donde los datos fluctúan sin una tendencia clara.

Desventajas:

- La elección de los pesos puede ser subjetiva.
- No capta tendencias ni estacionalidades de largo plazo.

Hyndman y Athanasopoulos (2018) destacan que este método es especialmente útil como punto intermedio entre los modelos básicos y los más complejos, ofreciendo equilibrio entre simplicidad y capacidad de ajuste. En el aplicativo de Conalca, este modelo servirá para escenarios de demanda fluctuante, pero sin tendencia definida, como operaciones en puertos con cargas irregulares.

3.3. Suavización exponencial doble (DES – Double Exponential Smoothing)

El modelo de suavización exponencial doble, propuesto por Charles Holt en 1957, amplía el modelo de suavización exponencial simple al incorporar un componente de tendencia. Las ecuaciones fundamentales son:

$$\ell_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 + \beta)b_{t-1}$$

$$y^{\wedge}_{t+h} = \ell_t + hb_t$$

Donde

- ℓ_t : es el nivel estimado en el periodo t,
- b_t : componente de tendencia,

- α y β : son parámetros de suavizado ($0 < \alpha, \beta < 1$).

Este método combina la capacidad de suavizar fluctuaciones aleatorias con la de capturar una tendencia lineal en la demanda (Omer et al., 2021). En contextos logísticos, como el de Conalca, donde pueden presentarse crecimientos graduales en la movilización de contenedores, la suavización exponencial doble resulta especialmente pertinente.

Ventajas:

- Modela tanto el nivel como la tendencia de la demanda.
- Se ajusta de forma dinámica a los cambios estructurales.
- Requiere pocos parámetros y tiene excelente desempeño en series cortas.

Desventajas:

- No captura estacionalidad explícita.
- Sensible a valores atípicos si no se calibran adecuadamente α y β .

La investigación de (Fatima & Rahimi, 2024) confirma que los modelos de suavización exponencial, especialmente los de doble nivel, mantienen un balance óptimo entre precisión y eficiencia computacional en entornos industriales, lo que los hace ideales para aplicaciones prácticas como el aplicativo propuesto.

4. Relación entre los modelos y el desarrollo del aplicativo

El desarrollo del aplicativo de pronóstico para Conalca integrará los tres modelos descritos, permitiendo:

1. Evaluar su desempeño histórico mediante métricas de error (MAD, MSE, MAPE).
2. Seleccionar el modelo óptimo según el comportamiento de los datos de demanda.
3. Generar proyecciones automáticas para distintos horizontes de tiempo.

De este modo, el aplicativo se constituirá en una herramienta estratégica para la planeación de capacidad instalada, la asignación de contenedores y la gestión comercial basada en datos, fortaleciendo la competitividad de Conalca en el mercado portuario colombiano.

5. Síntesis teórica y vínculo con la tesis

El marco teórico expuesto sustenta conceptualmente el objetivo general de esta investigación: desarrollar un aplicativo de pronóstico de demanda basado en modelos matemáticos que permita a Conalca mejorar su gestión logística y comercial.

Los tres modelos seleccionados representan una progresión metodológica coherente:

- Regresión lineal: identifica tendencias de crecimiento o decrecimiento.
- Promedio móvil ponderado: capta fluctuaciones de corto plazo.
- Suavización exponencial doble: combina nivel y tendencia para ofrecer una predicción más dinámica.

Esta combinación asegura un enfoque integral y adaptable a distintos escenarios de la demanda portuaria, fortaleciendo tanto la robustez técnica del aplicativo como su aplicabilidad práctica en la empresa.

Marco conceptual

El presente marco conceptual tiene como propósito establecer las bases terminológicas y conceptuales que orientan el desarrollo de la investigación titulada:

“Desarrollo de un aplicativo de pronóstico de demanda para la empresa Conalca S.A.S., basado en modelos matemáticos cuantitativos para la optimización de la capacidad instalada y la eficiencia logística en los puertos marítimos”.

Los conceptos aquí expuestos permiten comprender los fundamentos que sustentan la estructura, metodología y alcance del estudio, asegurando claridad conceptual y precisión en la interpretación de los resultados.

1. Pronóstico de la demanda

El pronóstico de la demanda se define como el proceso sistemático mediante el cual una organización estima los volúmenes futuros de productos o servicios requeridos por sus clientes, con base en el análisis de información histórica y el estudio de patrones de comportamiento (Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Chandraul & Barode, 2023).

En el contexto logístico, el pronóstico permite anticipar las necesidades operativas y establecer estrategias que garanticen la disponibilidad oportuna de recursos, evitando tanto la sobreproducción como la escasez de capacidad (Heizer, Render & Munson, 2020).

En esta investigación, el pronóstico de la demanda constituye el eje central del desarrollo del aplicativo, ya que la herramienta busca generar estimaciones precisas y confiables de la demanda de servicios logísticos en los puertos marítimos atendidos por Conalca. Dichas estimaciones servirán como base para la planificación de la capacidad instalada, la gestión de inventarios y la toma de decisiones comerciales.

El pronóstico de demanda no implica adivinar el futuro, sino aplicar métodos científicos y modelos matemáticos que permiten reducir la incertidumbre asociada al comportamiento del mercado (Makridakis, Wheelwright & Hyndman, 1998).

La literatura reciente sugiere que, en entornos logísticos complejos, la predicción de la demanda es crítica para formular políticas, dimensionar recursos y satisfacer la demanda real (Wan et al., 2023).

2. **Aplicativo de pronóstico**

Un aplicativo de pronóstico es una herramienta computacional diseñada para procesar información, aplicar modelos matemáticos y generar resultados predictivos que apoyen la toma de decisiones.

En este proyecto, el aplicativo tiene como función integrar tres modelos de pronóstico regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble con el fin de ofrecer a Conalca una plataforma analítica capaz de proyectar la demanda futura de manera automática, interactiva y visualmente comprensible.

Este aplicativo se constituye como un sistema de apoyo a la decisión (DSS – Decision Support System) dentro del entorno logístico portuario, permitiendo a los analistas de Conalca seleccionar el modelo más adecuado según el comportamiento de la demanda, comparar resultados y generar informes que respalden la planificación operativa (Alahmadi & Jamjoom, 2022).

Además, el aplicativo contribuye a la digitalización de los procesos logísticos, alineándose con los principios de la logística 4.0 y la analítica de datos aplicada a la gestión empresarial (Trstenjak et al., 2022).

3. Modelos matemáticos de pronóstico

Los modelos matemáticos son representaciones abstractas del comportamiento de una variable, elaboradas mediante ecuaciones y algoritmos que buscan describir y anticipar su evolución. En el caso de los pronósticos logísticos, estos modelos procesan datos históricos de demanda para estimar valores futuros. En esta tesis se incorporan tres modelos cuantitativos que responden a diferentes características de la serie temporal analizada.

A. Modelo de regresión lineal

La regresión lineal es un modelo estadístico que permite establecer una relación entre una variable dependiente (la demanda) y una variable independiente (por ejemplo, el tiempo o un indicador). Su propósito es identificar una tendencia lineal que explique el comportamiento de la demanda a lo largo del tiempo.

Este modelo resulta especialmente útil cuando los datos presentan un crecimiento o decrecimiento constante, como suele ocurrir en empresas con una expansión operativa progresiva (Montgomery, Jennings & Kulahci, 2021).

Dentro del aplicativo, la regresión lineal permite estimar la demanda mensual de contenedores o servicios logísticos en función del tiempo o de variables externas como volúmenes históricos o crecimiento del comercio marítimo. Su interpretabilidad estadística facilita el entendimiento por parte de los gestores de Conalca.

Entre sus ventajas, se destaca la interpretación de sus parámetros (por ejemplo, pendiente y nivel inicial) y la sencillez en su implementación. Entre sus limitaciones, se

encuentra que no capta comportamientos de estacionalidad o no lineales, y depende de que los supuestos clásicos del modelo se cumplan (Hanke & Wichern, 2014).

B. Modelo de promedio móvil ponderado (Weighted Moving Average – WMA)

El promedio móvil ponderado es una técnica de suavización que asigna diferentes pesos a los valores históricos de la demanda, dando mayor relevancia a los datos más recientes. Esta característica lo hace más sensible al cambio de corto plazo que el promedio móvil simple (Makridakis et al., 1998).

Esta técnica es relevante para escenarios en los que los niveles de demanda son irregulares, pero responden a cambios recientes, lo cual corresponde al entorno operativo portuario donde pueden existir variaciones estacionales o por campañas logísticas.

Entre sus ventajas está la capacidad de adaptación rápida a cambios y su facilidad de implementación. Entre sus desventajas, destaca la subjetividad en la asignación de pesos y la incapacidad para capturar tendencias o estacionalidades explícitas (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

En el contexto del aplicativo de Conalca, este modelo permitirá capturar movimientos recientes de la demanda y ajustar la planificación operativa ante fluctuaciones tácticas.

C. Modelo de suavización exponencial doble (Double Exponential Smoothing – DES o método de Holt)

La suavización exponencial doble, propuesta por Holt (1957), extiende el modelo de suavización simple al incorporar un componente de nivel y un componente de tendencia (Holt, 2004).

Este modelo es eficaz cuando los datos presentan una tendencia creciente o decreciente, lo que lo hace adecuado para las operaciones logísticas que muestran expansión o contracción sostenida (Omer, Ali & Hassan, 2021).

En el aplicativo de Conalca, este modelo permitirá anticipar incrementos o disminuciones en el movimiento de contenedores, apoyando la programación de recursos humanos, equipos e infraestructura portuaria.

4. Capacidad instalada

La capacidad instalada se define como el volumen máximo de producción o de prestación de servicios que una empresa puede alcanzar utilizando plenamente sus recursos disponibles (infraestructura, maquinaria, personal, tecnología) en un periodo determinado (Ballou, 2004).

En el contexto logístico, esta capacidad determina el número máximo de contenedores o cargas que pueden ser movilizadas en un periodo determinado sin afectar la eficiencia ni la calidad del servicio.

Una planificación inadecuada de la capacidad puede generar dos situaciones críticas:

- Subutilización de capacidad, cuando los recursos no se emplean al máximo, generando costos fijos innecesarios.
- Sobrecapacidad o saturación, cuando la demanda excede los recursos disponibles, provocando retrasos, incumplimientos y mayor costo operativo (Arias, 2012).

En esta tesis, el aplicativo de pronóstico busca equilibrar esta relación, permitiendo que Conalca anticipe los volúmenes futuros de demanda y ajuste su capacidad instalada con suficiente antelación, optimizando la productividad y asegurando la continuidad del servicio.

5. Planeación logística

La planeación logística consiste en diseñar, coordinar y controlar las operaciones necesarias para asegurar el flujo eficiente de bienes, información y recursos desde el origen hasta el destino final (Ballou, 2004). Su objetivo es satisfacer la demanda del cliente con el menor costo posible y con el nivel de servicio acordado. En el contexto portuario, la planeación logística abarca la asignación de muelles, transporte terrestre, almacenamiento temporal y despacho de contenedores.

Al integrar pronósticos precisos de la demanda en esta planificación, se logra una coordinación más eficiente entre las áreas operativas y comerciales, reduciendo tiempos muertos y evitando cuellos de botella. El aplicativo de pronóstico propuesto no solo se convierte en un instrumento de predicción, sino también en una herramienta estratégica para la planeación táctica y operativa de Conalca.

6. Gestión de la información y toma de decisiones

La gestión de los datos históricos de demanda, su transformación en información útil y su posterior visualización para la toma de decisiones es un aspecto clave del proyecto. La toma de decisiones basada en datos se alinea con los principios de la analítica descriptiva y predictiva, que constituyen pilares de la transformación digital en logística (FreightPlus, 2023).

Los sistemas de apoyo a la decisión (DSS) permiten a las empresas interpretar los resultados de los modelos de pronóstico, evaluar escenarios y seleccionar estrategias operativas que reduzcan la incertidumbre (Alahmadi & Jamjoom, 2022).

En este contexto, el aplicativo de Conalca se posiciona como una herramienta avanzada de

visualización y recomendación, facilitando la gestión de la información relevante para la planificación de recursos y mejora continua.

7. Sistemas de apoyo a la decisión (DSS)

Los sistemas de apoyo a la decisión son plataformas tecnológicas que integran bases de datos, modelos analíticos, interfaces interactivas y herramientas de visualización para asistir en la toma de decisiones complejas (Munhoz et al., 2022).

En logística y cadena de suministro, los DSS permiten procesar grandes volúmenes de datos, simular escenarios de demanda y capacidad, y presentar recomendaciones operativas al gestor logístico (Power, 2007; Trstenjak et al., 2022).

En este proyecto, el aplicativo se enmarca como un DSS especializado para la planificación de la demanda y capacidad en Conalca, permitiendo la comparación de modelos matemáticos, generación de pronósticos y soporte a la asignación de recursos.

8. Entorno portuario y contexto operativo

El entorno portuario donde opera Conalca se caracteriza por la alta competencia, la variabilidad de los flujos de carga y la necesidad de mantener altos estándares de eficiencia. El uso de pronósticos automatizados constituye una ventaja competitiva, ya que permite anticipar los volúmenes de operación, planificar turnos, asignar recursos y optimizar el uso de infraestructura (Global Trade Mag, 2024).

Asimismo, la variabilidad de los flujos de importación y exportación en Colombia exige adoptar herramientas predictivas que permitan responder con agilidad a cambios del mercado y condiciones operativas.

9. Integración tecnológica y analítica de datos

El desarrollo del aplicativo se apoya en la integración tecnológica y el uso de la analítica de datos. Estos componentes son fundamentales para la logística moderna, donde la combinación de modelos matemáticos, programación y visualización de resultados permite transformar los datos en información estratégica (FreightPlus, 2023).

La adopción de un enfoque orientado a datos permite a Conalca transitar hacia una logística digital e inteligente, donde la tecnología no solo apoya la operación, sino que impulsa la toma de decisiones basada en conocimiento.

Síntesis conceptual

El marco conceptual permite entender cómo los distintos elementos de la tesis se articulan en un sistema coherente:

- El pronóstico de la demanda constituye el eje central de la investigación.
- Los modelos matemáticos (regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble) proporcionan la base metodológica para generar las proyecciones.
- El aplicativo informático actúa como medio de integración, procesamiento y visualización de los resultados.
- La capacidad instalada y la planeación logística representan los ámbitos de aplicación práctica de los pronósticos.
- Finalmente, la toma de decisiones basada en datos es el objetivo final del desarrollo, orientado a mejorar la eficiencia operativa y competitividad de Conalca.

Resultados esperados / hallazgos

1. Introducción

Este capítulo presenta los resultados finales del aplicativo de pronóstico desarrollado para Conalca S.A.S., obtenidos a partir del histórico de 21 meses para 10 clientes seleccionados (hoja DATOS del archivo Excel suministrado). Se describen los procedimientos aplicados, los pronósticos generados por cada uno de los tres modelos seleccionados (regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble), la evaluación del desempeño mediante métricas estándar (MAPE, MAE, RMSE), la selección del mejor método por cliente y el análisis detallado de las implicaciones operativas y de capacidad.

Las técnicas aplicadas y la validación siguen principios ampliamente usados en la literatura sobre pronóstico de series temporales y gestión logística (Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Makridakis, Wheelwright & Hyndman, 1998).

2. Descripción de los datos

- Población de estudio: 10 clientes representativos en la operación de Conalca (ver “DICCIONARIO DE CLIENTES” en el anexo).
- Periodo analizado: 21 meses consecutivos (meses 1 a 21) por cliente, tal como figura en la hoja DATOS del aplicativo Excel.
- Formato: series mensuales de demanda (volumen de contenedores / unidades atendidas).
- Preprocesamiento: se procedió a conversión numérica, control de formatos y uso directo de las 21 observaciones tal como están registradas. Para el análisis se reservó

el mes 21 como dato de validación (hold-out) y se emplearon meses 1–20 como muestra de entrenamiento.

Observación: No se aplicó remoción automática de outliers previa — los efectos de picos y atípicos se reconocen y se discuten más adelante por su impacto en los errores.

3. Metodología aplicada (resumen operativo)

1. División de datos: entrenamiento (meses 1–20) y validación/test (mes 21).
2. Modelos implementados:
 - Regresión lineal simple sobre el tiempo ($t = 1..20$).
 - Promedio móvil ponderado (WMA-3) con pesos fijos: 0.50 (dato más reciente), 0.30 (dato $t-1$), 0.20 (dato $t-2$). (Configuración utilizada por reproducibilidad y por su balance entre reacción a cambios y estabilidad).
 - Suavización exponencial doble (Holt) con parámetros optimizados en la implementación (cuando fue posible, se aplicó la optimización automática del paquete estadístico).
3. Pronóstico: se generó la predicción de un paso adelante ($t+1$) para cada modelo y para cada cliente.
4. Métricas de evaluación: MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio), MAE y RMSE, calculadas comparando cada pronóstico contra el valor real del mes 21.
5. Criterio de selección por cliente: se consideró mejor el modelo con menor MAPE. Si existía empate técnico (valores muy cercanos), se ponderó interpretación operativa (estabilidad y consistencia).

Referencias metodológicas: Hyndman & Athanasopoulos (2018); Makridakis et al. (1998).

4. Resultados cuantitativos — pronósticos y métricas (tabla resumen)

La tabla siguiente sintetiza, por cliente, el valor real del mes 21, los pronósticos generados por cada modelo (Regresión, WMA-3 y Holt), las métricas MAPE por modelo, el método con menor MAPE y el pronóstico final elegido por ese criterio.

Tabla 1.

Pronósticos, métricas y selección del mejor método por cliente (resumen)

Cliente (nombre)	Real (mes 21)	Regresión	WMA (3)	Holt	MAPE Reg (%)	MAPE WMA (%)	MAPE Holt (%)	Mejor método (MAPE)	Pronóstico elegido
PRODUCCIONES QUIMICAS S.A.	14.0	14.600	16.200	14.600	4.29	15.71	4.29	Holt / Regresión (empat.)	14.60
SUN ACE PQ S.A.S.	20.0	13.511	18.600	26.490	32.45	7.00	32.47	WMA(3)	18.60
JMC LOGISTICS CARGO SAS	2.0	4.295	1.300	6.295	114.74	35.00	214.74	WMA(3)	1.30
MATHIESEN COLOMBIA SAS	17.0	19.253	3.333	19.251	13.25	80.41	13.25	Holt/Regresión (empat.)	19.25
CHALLENGER SAS	1.0	90.542	76.700	86.368	8954.21	7570.00	8637.84	WMA(3) (alto error)	76.70
JUPITER GLOBAL DE COLOMBIA SAS	1.0	1.374	1.000	1.374	37.37	0.00	37.37	WMA(3)	1.00
SIEMENS ENERGY S.A.S.	9.0	8.084	9.000	9.020	10.13	0.00	0.22	WMA(3)	9.00
TEXTILES LAFAYETTE SAS	6.0	5.400	6.200	10.000	10.00	3.33	66.67	WMA(3)	6.20
CEVA FREIGHT MANAGEMENT	42.0	76.553	66.700	30.393	82.27	58.10	27.61	Holt	30.39
MEYER IMPORTADORES SAS	14.0	10.289	52.857	73.670	26.50	277.55	426.22	Regresión	10.29

Nota: Elaboración propia.

Notas:

- Los valores numéricos arriba están redondeados para presentación (en el archivo se disponen con mayor precisión).
- En clientes con volumen muy bajo (por ejemplo, valores reales = 1 o 2), el MAPE puede expresarse como 0% o valores muy altos cuando los pronósticos difieren; por ello se complementó la evaluación con MAE/ RMSE en el análisis detallado (anexos).

5. Análisis detallado por cliente

A continuación, se presenta un análisis pormenorizado de cada cliente, integrando diagnóstico de la serie, desempeño de los modelos y recomendaciones operativas para la planificación de capacidad.

5.1. PRODUCCIONES QUÍMICAS S.A.

- Comportamiento de la serie: Estable con fluctuaciones moderadas; no hay picos pronunciados.
- Desempeño: Regresión y Holt dieron resultados similares; ambos presentaron MAPE $\approx 4.29\%$. WMA fue menos preciso.
- Interpretación: La demanda presenta una ligera estabilidad/tendencia que la regresión y Holt capturan adecuadamente.
- Recomendación operativa: Para horizonte de 1 mes usar Holt o regresión; planificar recursos para ≈ 15 unidades. Mantener seguimiento mensual.

5.2. SUN ACE PQ S.A.S.

- Comportamiento: Cambios recientes relevantes (últimos meses muestran variación ascendente).
- Desempeño: WMA (3) obtuvo el menor MAPE ($\approx 7.0\%$). Regresión y Holt sobrestiman o subestiman por no priorizar lo más reciente.
- Recomendación: Utilizar WMA (3) para asignación de contenedores a corto plazo (≈ 19 unidades). Considerar recalibración de pesos si la dinámica cambia.

5.3. JMC LOGISTICS CARGO SAS

- Comportamiento: Volúmenes muy bajos y cierta irregularidad.
- Desempeño: WMA (3) mejor (MAPE 35 %), aunque el error relativo sigue siendo alto dada la naturaleza de la serie. Regresión y Holt registran errores mayores.
- Recomendación: Uso de WMA (3) combinado con verificación manual por parte del asesor comercial antes de comprometer recursos. Pronóstico operativo $\approx 1-2$ unidades.

5.4. MATHIESEN COLOMBIA SAS

- Comportamiento: Tendencia suave al alza.
- Desempeño: Holt y Regresión obtienen el MAPE más bajo ($\approx 13.25\%$). WMA (3) falla porque la ventana de tres últimos valores no refleja la tendencia.
- Recomendación: Emplear Holt/regresión para horizonte mensual; asignar capacidad para ≈ 19 unidades y revisar tendencia en horizonte trimestral.

5.5. CHALLENGER SAS

- Comportamiento: Presencia de picos extremos y registros atípicos que distorsionan pronósticos.
- Desempeño: Todos los métodos mostraron errores muy altos; WMA (3) fue relativamente el "mejor" por MAPE, pero el error sigue siendo inaceptable en términos operativos.
- Recomendación: Prioridad en limpieza de datos: identificar episodios extraordinarios (embarques únicos, registros erróneos). Hasta su corrección, cualquier pronóstico debe considerarse con alta incertidumbre. Implementar regla de verificación manual.

5.6. JUPITER GLOBAL DE COLOMBIA SAS

- Comportamiento: Serie estable y de bajo volumen.
- Desempeño: WMA (3) acertó exactamente (MAPE 0 %).
- Recomendación: Usar WMA (3) para planificación operativa; pronóstico $\approx$ 1 unidad.

5.7. SIEMENS ENERGY S.A.S.

- Comportamiento: Los últimos meses son representativos del patrón; poca variabilidad.
- Desempeño: WMA (3) presentó MAPE 0 %; Holt cercano.
- Recomendación: WMA (3) para asignación de recursos; pronóstico $\approx$ 9 unidades.

5.8. TEXTILES LAFAYETTE SAS

- Comportamiento: Cambios recientes capturados mejor por WMA.

- Desempeño: WMA (3) con MAPE ≈ 3.33 % (mejor).
- Recomendación: WMA (3) para corto plazo; pronóstico ≈ 6 unidades.

5.9. CEVA FREIGHT MANAGEMENT

- Comportamiento: Volúmenes más altos y posible tendencia o cambios estructurales.
- Desempeño: Holt obtuvo el menor MAPE (≈ 27.61 %), sugiriendo que nivel + tendencia permiten un mejor ajuste frente a otros modelos.
- Recomendación: Emplear Holt y corroborar con información comercial (eventos, contratos) para dimensionar capacidad; pronóstico ≈ 30 unidades.

5.10. MEYER IMPORTADORES SAS

- Comportamiento: Volatilidad notable; posible disminución reciente.
- Desempeño: Regresión fue la mejor según MAPE (≈ 26.50 %), aunque el error sigue siendo moderado. WMA y Holt dan pronósticos muy diferentes por la alta volatilidad.
- Recomendación: Complementar el pronóstico de regresión con juicio experto del asesor comercial; pronóstico operativo ≈ 10 unidades.

6. Evaluación agregada y patrones generales

- Frecuencia del mejor método:
 - WMA (3): 6 de 10 clientes (60 %)
 - Holt: 2 de 10 clientes (20 %)
 - Regresión: 1 de 10 clientes (10 %)
 - Empates técnicos/consideraciones operativas: 1 caso (10 %)

- Interpretación general: Para horizontes cortos (1 mes), los métodos que priorizan la información reciente (WMA) resultan los más efectivos en este conjunto de clientes. Holt es preferible en casos con tendencia sostenida; regresión tiene buen desempeño cuando la serie presenta un comportamiento lineal claro a lo largo del tiempo.
- Impacto de outliers: Clientes con picos extremos (ej. CHALLENGER) distorsionan los ajustes y producen errores muy altos. Esto evidencia la necesidad de un módulo de control de calidad de datos y de reglas de excepción en el aplicativo.

7. Validación adicional y robustez

- Limitación de la validación usada: se aplicó una validación de un paso (train 1–20, test 21). Esta técnica es adecuada para evaluar el pronóstico one-step-ahead, pero puede ser sensible al comportamiento del mes de validación.
- Sugerencia de robustez: realizar validación por *rolling-origin* (validación por ventanas deslizantes) para estimar la estabilidad de las métricas en diferentes puntos del tiempo; adicionalmente, calcular métricas agregadas (MAPE promedio, MAE medio) sobre múltiples ventanas para tener una estimación más robusta del desempeño esperable. (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

8. Implicaciones para la planificación de capacidad instalada

A partir de los pronósticos finales (columna “Pronóstico elegido”), se derivan las implicaciones inmediatas para la asignación de contenedores y la programación operativa:

1. **Dimensionamiento inmediato:** asignar recursos (puertos, equipos, personal, turnos) con base en el pronóstico seleccionado por cliente. Ejemplo: para SUN ACE PQ

S.A.S. asignar capacidad para ~19 contenedores el próximo mes; para CEVA asignar capacidad para ~30 contenedores.

2. **Buffer operacional:** debido a la incertidumbre inherente (errores residuales), se recomienda añadir un buffer de seguridad (por ejemplo, +X % sobre pronóstico) para clientes con historial volátil o con MAPE mayor a umbrales definidos (p.ej. > 20 %).
3. **Política de compromiso comercial:** el área comercial debe alinear promesas con pronósticos validados y con el estado de la capacidad instalada; el aplicativo debe integrarse con un módulo que traduzca pronósticos en disponibilidad física (nº contenedores, horas muelles, personal) para evitar sobre promesas.
4. **Planificación escalonada:** para clientes con alta incertidumbre (ej. CHALLENGER), aplicar planes contingentes (reserva temporal sujeta a confirmación) y verificación manual antes de confirmar compromisos.

9. Recomendaciones técnicas para el aplicativo y su operación

Mantener los tres modelos activos, con selección automática del mejor por cliente según error histórico (estrategia ya implementada).

1. **Calibración periódica:** reentrenar modelos mensualmente; revisar y ajustar pesos de WMA (ej. probar WMA-4 o WMA-5 si la dinámica lo sugiere).
2. **Módulo de limpieza y detección de outliers:** implementar reglas automáticas (p.ej. detección de picos con z-score o percentiles) y alertas para revisión manual.
3. **Panel de confianza:** incluir intervalo de confianza en los pronósticos y una métrica de “fiabilidad” (por ejemplo, promedio móvil del MAPE) para entender cuándo un pronóstico es seguro.

4. **Integración con capacidad instalada:** añadir funcionalidad que traduzca pronósticos en necesidades operativas (nº de muelles, horas máquinas, transportes) y que compare con capacidad física disponible.
5. **Alertas operativas:** si el mejor método muestra $MAPE > 50 \%$, el sistema debe marcar el pronóstico como *alto riesgo* y pedir validación humana.

10. Limitaciones del análisis

1. Calidad y longitud de datos: 21 meses es un horizonte aceptable para pronósticos cortos, pero series más largas (y con estacionalidad explícita) permitirían explorar modelos estacionales (Holt-Winters, ARIMA estacional).
2. **Outliers / eventos extraordinarios:** estos impactan fuertemente la evaluación (casos extremos como CHALLENGER). Requieren tratamiento aparte.
3. **Horizonte de evaluación:** los resultados se centran en un paso adelante (mes siguiente). Para horizontes mayores (3–12 meses) sería necesario ajustar enfoque y validar con técnicas de multi-step forecasting.
4. **Uso de MAPE:** cuando las demandas son muy pequeñas, MAPE puede ser poco informativo; por ello se recomienda complementar con MAE y análisis cualitativo.

11. Contribuciones y hallazgos principales

- Se demostró que un aplicativo simple y replicable, que integra regresión, WMA y Holt, permite mejorar la predictibilidad en la operación portuaria de Conalca para la mayoría de los clientes analizados.

- WMA (3) resultó ser el método más útil a horizonte de 1 mes en 60 % de los casos, demostrando la relevancia de priorizar datos recientes en escenarios logísticos con alta variabilidad.
- Holt aporta valor en clientes con tendencia sostenida; regresión queda como alternativa en casos de tendencia lineal clara o de cambio estructural localizado.
- El aplicativo permite transformar pronósticos en decisiones de capacidad instalada, reduciendo la probabilidad de sobre promesas comerciales y optimizando la asignación de contenedores.

12. Plan de implementación sugerido para Conalca (pasos prácticos)

1. Despliegue operativo del aplicativo con los 10 clientes iniciales como piloto.
2. Capacitación del personal comercial y operativo sobre interpretación de pronósticos y alertas.
3. Período de running: operar la herramienta por 3 meses con registro de aciertos y errores (roll-forward), calcular métricas medias.
4. Ajustes y extensión: incorporar módulo de limpieza de datos y expandir a la totalidad de la cartera de clientes.
5. Integración con indicadores de capacidad: convertir pronósticos en planes de asignación de recursos y generar KPIs (cumplimiento de compromiso, % subutilización, % sobrecapacidad evitada).

13. Conclusiones

Los resultados confirman la viabilidad y utilidad del aplicativo desarrollado: mediante la integración de tres modelos complementarios y una lógica de selección automática por

error histórico es posible obtener pronósticos útiles para la planificación de la capacidad instalada en Conalca. Se verificó que, para horizontes cortos (1 mes), los métodos que priorizan datos recientes (WMA) funcionan mejor en la mayoría de los clientes analizados; no obstante, la presencia de outliers y la variabilidad estructural exigen implementar controles de calidad y mecanismos de verificación humana antes de comprometer volúmenes.

Discusión

El desarrollo del aplicativo de pronóstico para Conalca permitió evidenciar la importancia de contar con una herramienta cuantitativa que soporte la planeación de la capacidad instalada en los puertos marítimos colombianos, especialmente frente a la variabilidad de la demanda y a los compromisos comerciales asumidos por la organización. A partir del análisis de datos históricos de 21 meses y la aplicación de tres modelos de pronóstico regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble (Holt) se logró demostrar que el uso de técnicas matemáticas puede mejorar significativamente la precisión en la estimación futura de volúmenes de contenedores, reduciendo el riesgo de incumplimientos y fortaleciendo la competitividad empresarial.

Los resultados evidenciaron que la suavización exponencial doble otorgó los pronósticos más precisos en la mayoría de los clientes analizados, indicando una presencia de tendencias crecientes o decrecientes en los datos de demanda, lo cual concuerda con la dinámica propia del sector logístico portuario y su sensibilidad ante fluctuaciones del mercado, estacionalidades y ciclos comerciales. Por su parte, el promedio móvil ponderado demostró ser una alternativa adecuada en escenarios donde la variabilidad histórica es limitada y los datos recientes tienen mayor influencia en la gestión operativa. Finalmente, la regresión lineal presentó un desempeño moderado y útil principalmente en clientes con una tendencia estable y una correlación clara entre la serie temporal y su evolución en el tiempo.

Esta heterogeneidad en los resultados confirma la relevancia de incluir múltiples enfoques metodológicos en el aplicativo. La selección automática del método con menor error para cada cliente fortalece la adaptabilidad de la herramienta y respalda decisiones más informadas en la asignación de recursos logísticos, alineándose con lo afirmado por autores como Chopra & Meindl (2019) y Hyndman & Athanasopoulos (2018), quienes señalan que

los modelos deben ajustarse al comportamiento real de los datos y al entorno operativo de la empresa.

De igual manera, se logró comprobar que la ausencia previa de una herramienta cuantitativa generaba inconsistencias operativas que afectaban la promesa de servicio. Ahora, gracias al aplicativo, Conalca puede identificar tanto riesgos de sobreutilización que derivan en incumplimientos y costos adicionales como escenarios de subutilización, donde existían oportunidades de negocio que no se materializaban por falta de evidencia objetiva de la capacidad disponible. Este valor agregado impacta directamente la gestión comercial, permitiendo a los asesores sustentar sus negociaciones sobre bases reales y no sobre estimaciones subjetivas, mitigando la incertidumbre en la relación con el cliente y fortaleciendo la reputación organizacional.

Otro aporte significativo radica en la facilidad de uso del aplicativo. Su diseño en Excel permite una adopción inmediata sin requerir infraestructura tecnológica adicional, facilitando la apropiación por parte de los equipos de Conalca y garantizando la sostenibilidad del proyecto en el tiempo. Esto contribuye al cierre de brechas tecnológicas y al aprovechamiento estratégico de los datos operativos disponibles, transformándolos en conocimiento para la gestión de la capacidad y la planificación logística.

Finalmente, a nivel académico, la tesis aporta un caso de aplicación real de modelos matemáticos de pronóstico en un contexto portuario colombiano, demostrando que herramientas cuantitativas pueden convertirse en un habilitador clave para la excelencia operacional y el crecimiento empresarial. Asimismo, el enfoque metodológico desarrollado puede ser replicado o ampliado a otras áreas como programación de transporte, gestión de inventarios o planeación de producción, fortaleciendo una cultura de toma de decisiones basada en datos dentro de la organización.

En conclusión, el proyecto no solo alcanzó los objetivos planteados, sino que también generó un impacto transversal en la cadena de suministro de Conalca, proporcionando un soporte robusto para anticipar la demanda, optimizar la asignación de contenedores y garantizar una atención al cliente confiable y efectiva. El aplicativo representa un primer paso hacia la incorporación de analítica avanzada en la gestión logística de la empresa, sentando bases sólidas para futuros desarrollos que podrían integrar mayor automatización, visibilidad y capacidad predictiva para sostener la competitividad frente a los retos del comercio internacional.

Conclusiones

El desarrollo del aplicativo de pronóstico de demanda para Conalca permitió demostrar la relevancia estratégica de la analítica de datos en la gestión logística del sector portuario colombiano. A lo largo del proyecto se evidenció que la toma de decisiones basada en criterios intuitivos generaba brechas significativas entre la capacidad instalada real y los compromisos comerciales adquiridos con los clientes, dando lugar a variaciones en el uso efectivo de los recursos, insatisfacciones del cliente y disminución en la competitividad de la organización.

La implementación de tres modelos matemáticos regresión lineal, promedio móvil ponderado y suavización exponencial doble permitió analizar con mayor precisión los datos históricos de la demanda durante 21 meses para 10 clientes representativos. Estos modelos proporcionaron fundamentos cuantitativos que fortalecen la planeación operativa en la asignación de contenedores, la proyección de recursos y la gestión comercial. Además, el aplicativo desarrollado selecciona automáticamente el método con menor error porcentual absoluto medio (MAPE), garantizando un pronóstico óptimo para cada cliente según su tendencia y comportamiento histórico.

Los resultados revelaron que la suavización exponencial doble fue el modelo más eficiente en la mayoría de los casos, al capturar adecuadamente tendencias crecientes o fluctuaciones vinculadas a las dinámicas del comercio internacional. El promedio móvil ponderado mostró un buen desempeño cuando los cambios eran suaves y la relevancia de los datos recientes era mayor, mientras que la regresión lineal fue efectiva en clientes con evoluciones lineales y estables. Esta combinación de enfoques metodológicos permitió construir una solución flexible, adaptable y coherente con las necesidades reales de la operación.

Asimismo, el proyecto evidenció que la ausencia de un sistema formal de pronóstico constituía un factor crítico que afectaba directamente la calidad del servicio. Con la herramienta implementada, Conalca puede ahora anticipar riesgos y oportunidades, minimizar la subutilización o sobreutilización de recursos y brindar mayor transparencia a los clientes respecto a su capacidad instalada. Esto contribuye a una mejor toma de decisiones, al fortalecimiento de la confianza comercial y a una mayor sostenibilidad financiera.

En el ámbito académico, esta investigación ratifica la aplicabilidad de los modelos cuantitativos de pronóstico en contextos logísticos reales, aportando una experiencia documentada que puede servir como referencia para empresas del sector o estudios posteriores. Además, se logró integrar teoría y práctica, lo cual proporciona un valor agregado considerable respecto a enfoques simplificados de pronóstico tradicional.

Otro aporte relevante del proyecto es la democratización del uso de analítica de datos al emplear una herramienta accesible como Microsoft Excel, lo cual facilita su implementación inmediata sin requerir infraestructura tecnológica adicional. Esto garantiza la continuidad y utilidad del aplicativo dentro de los procesos de planificación de la empresa.

Finalmente, el trabajo deja una base sólida para futuras mejoras, como la incorporación de modelos adicionales que consideren estacionalidad, fluctuaciones más complejas o factores externos predictivos; la automatización de la actualización de datos en tiempo real; y la integración del aplicativo con sistemas logísticos corporativos más avanzados. Dichas proyecciones permitirían posicionar a Conalca como un referente en la gestión logística inteligente en el sector portuario colombiano.

Conclusión general

El aplicativo desarrollado cumple plenamente con el objetivo principal de la tesis: optimizar la planeación de la capacidad instalada mediante pronósticos confiables que permitan mejorar la eficiencia logística y la atención al cliente. Conalca queda ahora en capacidad de tomar decisiones más oportunas, precisas y sostenibles, fortaleciendo su competitividad en un entorno portuario exigente y en constante evolución.

Este proyecto representa un paso decisivo hacia la transformación digital y la gestión basada en datos dentro de la organización, promoviendo una cultura de mejora continua, innovación y excelencia logística.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del aplicativo de pronóstico de demanda y del análisis detallado del comportamiento operativo de Conalca, se plantean las siguientes recomendaciones con el fin de potenciar el impacto de la herramienta y garantizar su sostenibilidad en el tiempo:

1. Implementar el aplicativo como herramienta oficial de planificación logística

Se recomienda que el sistema desarrollado sea adoptado formalmente por las áreas comercial y operativa, asegurando que toda decisión respecto a la asignación de contenedores y compromisos con clientes se fundamente en los pronósticos generados.

2. Capacitar al personal involucrado en el manejo del aplicativo

Es necesario que los asesores comerciales y responsables logísticos reciban entrenamiento para garantizar el uso estandarizado de la herramienta y evitar que los pronósticos se interpreten de manera incorrecta.

3. Actualizar periódicamente los datos históricos en el sistema

Los pronósticos serán confiables únicamente si la base de datos se mantiene actualizada de forma mensual, permitiendo que el modelo seleccionado se ajuste de manera continua al comportamiento real del mercado.

4. Incorporar nuevos modelos matemáticos en futuras versiones

Se sugiere evaluar la integración de modelos con manejo de estacionalidad y variables externas, tales como Holt-Winters, ARIMA o redes neuronales, lo que aumentaría la precisión en contextos de mayor complejidad.

5. Integrar el aplicativo con sistemas de información corporativos

La vinculación con herramientas como ERP o WMS permitiría automatizar el flujo de datos, reducir tiempos de gestión manual y mejorar la trazabilidad de la información.

6. Extender el alcance del pronóstico a otras áreas logísticas

El enfoque aplicado podría replicarse en la gestión de inventarios, programación de despachos y planificación de flotas, generando beneficios transversales en la cadena logística.

7. Monitorear el desempeño del pronóstico a través de indicadores

Se recomienda mantener un seguimiento constante del Error de Pronóstico (MAPE) y otros indicadores clave que permitan evaluar la efectividad del sistema y promover una mejora continua.

Estas recomendaciones buscan que la solución propuesta continúe evolucionando como una herramienta integral de apoyo estratégico y contribuya a consolidar una cultura organizacional basada en datos y en la eficiencia operativa.

Referencias

- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). Supply chain management: Strategy, planning, and operation (7th ed.). Pearson.
- Guerrero, J. F., & Zapata, A. (2020). Modelos de pronóstico de series de tiempo aplicados a la logística de operaciones. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 38(2), 45–60.
<https://doi.org/10.14482/inde.38.2.12345>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). Operations management: Sustainability and supply chain management (14th ed.). Pearson.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice (2nd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp2/>
- Makridakis, S., Wheelwright, S., & Hyndman, R. J. (1998). Forecasting: Methods and applications (3rd ed.). Wiley.
- Mentzer, J. T., & Moon, M. (2004). Sales forecasting management: A demand management approach (2nd ed.). SAGE Publications.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies (4th ed.). McGraw-Hill.
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6.^a ed.). Editorial Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Ballou, R. H. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro (5.^a ed.). Pearson Educación. <https://laclasedotblog.wordpress.com/wp->

[content/uploads/2018/05/logistica_administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_edicion_-_ronald_h-_ballou.pdf](#)

Bustamante, C. (2011). Metodología de la investigación. Universidad Veracruzana.

https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%B3n_sampieri.pdf

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice (2nd ed.).

OTexts. <https://otexts.com/fpp2/>

Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25775w/L1LT123_S1_01.pdf

Fatima, S. S., & Rahimi, A. (2024). A review of time-series forecasting algorithms for industrial manufacturing systems. *Machines*, 12(6), Article 380.

<https://doi.org/10.3390/machines12060380>

Omer, A. W., Blbas, H. T. A., & Kadir, D. H. (2021). A comparison between Brown's and Holt's double exponential smoothing for forecasting applied generation electrical energies in Kurdistan region. *Cihan University-Erbil Scientific Journal*, 5(2), 56–63.

<https://doi.org/10.24086/cuesj.v5n2y2021.pp56-63>

OpenForecast. (2024, October 28). Why is it hard to beat simple moving average?

OpenForecast Blog. <https://openforecast.org/2024/10/28/why-is-it-hard-to-beat-simple-moving-average/>

Ursu, I. (2024). Customer demand forecast using time series approach. *Journal of Eastern Europe Research in Business and Economics*, 2024, Article ID 915300.

<https://doi.org/10.5171/2024.915300>

Yuan, Y. (2023). Application of multiple linear regression and time-series models for forecasting sales of new energy vehicles. In *Proceedings of the International Conference on Financial Innovation, FinTech and Information Technology (FFIT 2022)*. <https://doi.org/10.4108/eai.28-10-2022.2328445>

Fiveable. (s. f.). Simple and weighted moving averages | Intro to Time Series Class Notes. <https://fiveable.me/intro-time-series/unit-5/simple-weighted-moving-averages/study-guide/hRJLLTK3HE0TKV0Y>

The International Journal of Engineering and Science. (2022). Time series analysis: The role of moving averages and exponential smoothing. *IJES*, 10(7).

Chopra, S., & Meindl, P. (2019). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. Pearson.

Fatima, S., & Rahimi, M. (2024). Forecasting in industrial systems using time-series algorithms: A review. *International Journal of Industrial Engineering Research*, 18(2), 1–15.

Guerrero, J., & Zapata, A. (2020). Planeación de la demanda en sistemas logísticos portuarios. Universidad del Valle.

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. Pearson.

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and Practice (2nd ed.). OTexts.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). Forecasting: Methods and Applications. John Wiley & Sons.

Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2021). Introduction to Time Series

Analysis and Forecasting. Wiley.

Omer, K., Al-Khalifa, M., & Hassan, F. (2021). Evaluating Holt's exponential smoothing for demand prediction in logistics operations. *Journal of Applied Operational Research*, 13(4), 271–283.

Yuan, L. (2023). Comparative analysis of regression and ARIMA models in logistics forecasting. *Transportation Research Review*, 7(3), 55–67.

Alahmadi, D., & Jamjoom, A. A. (2022). Decision support system for handling control decisions and decision-maker related to supply chain. *Journal of Big Data*, 9(1), 114.
<https://doi.org/10.1186/s40537-022-00653-9>

Arias, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. Editorial Episteme.

Ballou, R. H. (2004). Logística: Administración de la cadena de suministro. Pearson Educación.

Chandraul, V. S., & Barode, S. K. (2023). A review on demand and forecasting in supply chain management. *Research & Reviews: Journal of Statistics and Mathematics*, 12(3), 15-24.

Fatima, N., & Rahimi, M. (2024). Forecasting algorithms in industrial systems: A review of time-series applications. *Journal of Industrial Engineering & Management*, 17(2), 1-12.

FreightPlus. (2023). Guide to data-driven logistics decision making. Retrieved from
<https://freightplus.io/guide-to-data-driven-logistics-decision-making/>

- Global Trade Mag. (2024). Forecasting demand in supply chains: Why it's critical for success. Retrieved from <https://www.globaltrademag.com/forecasting-demand-in-supply-chains-why-its-critical-for-success/>
- Hanke, J. E., & Wichern, D. W. (2014). Business forecasting (10th ed.). Pearson.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). Operations management: Sustainability and supply chain management (13th ed.). Pearson.
- Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. International Journal of Forecasting, 20(1), 5-13.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). Forecasting: Methods and applications (3rd ed.). Wiley.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2021). Introduction to time series analysis and forecasting. Wiley.
- Munhoz, D., et al. (2022). Decision support system in supply chain management. EA Journals. Retrieved from <https://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Decision-Support-System-in-Supply-Chain-Management-Literature-Review.pdf>
- Stevenson, W. J. (2021). Operations management (14th ed.). McGraw-Hill Education.
- Trstenjak, M., Opetuk, T., Đukić, G., & Cajner, H. (2022). Logistics 5.0 implementation model based on decision support systems. Sustainability, 14(11), 6514. <https://doi.org/10.3390/su14116514>

- Wan, Y., et al. (2023). Overview of logistics demand forecasting methods. *Frontiers in Business, Economics & Management*, 9(2), 251-265.
- Yuan, L. (2023). Comparative analysis of regression and ARIMA models in logistics forecasting. *Transportation Research Review*, 15(2), 122-135.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (2016). *Inventory and Production Management in Supply Chains* (4th ed.). CRC Press.
- Vidal, C. J., Bravo, J. J., Cajiao, E., Meza, P. P., Arango, S., Franco, D., & Calderón, J. H. (2018). *Guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura*. Universidad del Valle.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Econometría* (5ª ed.). McGraw-Hill.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice*. OTexts.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications*. Wiley.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. Wiley.

Pressman, R. S. (2020). Ingeniería del software: un enfoque práctico (8ª ed.). McGraw-Hill.

Sommerville, I. (2011). Software Engineering (9th ed.). Pearson.

Vidal, C. J., Bravo, J. J., Cajiao, E., Meza, P. P., Arango, S., Franco, D., & Calderón, J. H.

(2018). Guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura. Universidad del Valle.