

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



MULTI-PRODUCT INVENTORY MODELING WITH DEMAND FORECASTING

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Artículo Científico

Angie Solange Valencia Olivares

Código 20183375

Axel Abraham Mendoza Bojórquez

Código 20173599

Asesor

José Antonio Taquía Gutiérrez

Lima – Perú
Mayo de 2025

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título Multi-product inventory modeling with demand forecasting
Autor(es) Angie Solange Valencia Olivares 20183375@aloe.ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú Axel Abraham Mendoza Bojórquez 20173599@aloe.ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú José Antonio Taquía Gutiérrez jtaquia@ulima.edu.pe Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú
Resumen: Muchas empresas mayoristas no usan un control adecuado de su nivel de inventario, y variables como la demanda de productos varían continuamente por la estacionalidad y las tendencias del mercado, generando costes que reducen la rentabilidad de la empresa y producen insatisfacción de los clientes con el servicio ofrecido. En este trabajo proponemos la aplicación de un método para reducir el nivel de incertidumbre y riesgo en las ventas y simular la aplicación de una política de revisión continua de inventarios. Utilizando la demanda mensual de la empresa mayorista y considerando la maximización del beneficio, se eligió el modelo de series temporales ARIMA, desarrollado a través del lenguaje de programación R, y luego modelado en el software Arena los resultados de la previsión encontrada. La relevancia del estudio es presentar herramientas de mejora de inventarios que favorezcan una gestión favorable en términos de costes de gestión de inventarios. Palabras Clave: Previsión, inventario, optimización basada en simulación, Arena y series temporales. Abstract: Many wholesale companies do not use an adequate control of their inventory level, and variables such as product demand tend to vary continuously due to seasonality and market trends, generating costs that reduce profitability and eventually produce customer dissatisfaction with the service offered. In this paper we propose the application of a method to reduce the level of uncertainty and risk in sales and to simulate the implementation of a policy of continuous inventory review. Using the monthly demand of the wholesale company and considering the maximization of profit, the ARIMA time series model was chosen, developed through the R programming language, and then modeled in the Arena software the results of the forecast found. The relevance of the study is to present inventory improvement tools that encourage a favorable management in terms of inventory management costs. Keywords: Forecasting; inventory; simulation-based optimization; Arena; time series.
Línea de investigación IDIC – ULIMA: (6) - Desarrollo empresarial
Área y Sub-áreas de Investigación: (8) – Gestión de la cadena de suministro
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS): (9) – Industria, innovación e infraestructura

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de empresas mayoristas en el Perú dedicada a la venta de abarrotes eventualmente sugiere un cambio en su modelo de control de inventario pues el deficiente manejo del mismo desencadena el incumplimiento en la demanda.

Alim y Beullens (2021), Alharkanet al. (2020) y Pérez et al. (2021), sostienen que el inventario es un elemento clave en la cadena de suministro, ya que busca facilitar el equilibrio entre oferta y demanda para maximizar la rentabilidad y mantener la competitividad de las empresas.

En las empresas mayoristas donde las ventas son frecuentes y de gran cantidad, el efecto látigo del inventario afecta la planificación operativa (Tao et al. 2019). En la misma línea, Salas-Navarro et al. (2017) afirma que hoy muchos de ellos presentan problemas para administrar sus inventarios impactando negativamente en la forma de atención al cliente, su competitividad en el mercado y su desempeño financiero. Kourentzes et al. (2020) afirma que esto se debe a que las empresas desconocen el proceso de previsión de la demanda.

Por este motivo, es importante desarrollar un pronóstico para la generación de aproximaciones de demanda; como lo mencionan Morcillo et al. (2021), permite una mejor evaluación de costos y rentabilidad. Además, Benhamida et al. (2021) afirma que ayuda a reducir la incertidumbre entre demanda e inventario. Ante esta disyuntiva surge la siguiente interrogante ¿Es posible obtener beneficios en la gestión de la planificación del suministro de una empresa mayorista mediante el uso de herramientas de previsión y simulación?

OBJETIVOS

La investigación tiene como objetivo principal evaluar la técnica de revisión continua como medio de control de inventarios, en términos de costos de inventario en función de la demanda estocástica y el tiempo de entrega, utilizando Arena Simulator.

Para ello se plantearon objetivos específicos:

- Obtener una muestra representativa y confiable mediante la aplicación de técnicas de limpieza de datos, como la categorización ABC, métodos de exclusión, y el uso de herramientas estadísticas especializadas.
- Identificar un modelo de pronóstico utilizando indicadores MAPE y RMSE en términos de sesgo y precisión de cada modelo de serie temporal.

JUSTIFICACIÓN

Valencia-Cárdenas et al. (2016) afirma que la complejidad de las cadenas de suministro requiere métodos avanzados para programar los inventarios de las empresas, y compara modelos de pronóstico de demanda para múltiples productos con el fin de obtener el mejor modelo y definir políticas de pedidos, inventarios, costos y ganancias. Según Gong et al. (2022) sostiene que existe una gran cantidad de artículos que han demostrado la efectividad de la revisión continua, tal es el caso del artículo de Petropoulos et al. (2018) donde se empleó una simulación continua para el análisis del desempeño del mecanismo de pronóstico. Donde, a su vez, se afirma que la previsión precisa es importante para las operaciones empresariales, pero es incorrecto emplear un enfoque basado en minimizar los errores de previsión, ya que también se debe maximizar la utilidad.

Según Kourentzes et al. (2020) reducir el sesgo del pronóstico en lugar de la precisión proporciona pronósticos sesgados, lo que afecta las métricas de inventario, las decisiones de reordenamiento y la cantidad de stock de seguridad. En la misma línea Wang et al. (2021), afirma que, en un entorno realista, donde se desconoce el proceso de la demanda, se confía en los pronósticos por su imperatividad en muchas áreas de investigación y aplicación para generar aproximaciones de la demanda esperada considerando métodos y técnicas que han sido estudiados durante muchos años.

A medida de estudio, Vo et al. (2021) propone soluciones para mejorar la capacidad de suministro empresarial mediante la selección de modelos de pronóstico y un marco de políticas para garantizar un inventario óptimo. Primero, la investigación elegida analizó el modelo de pronóstico con el menor error basado en una colección de 60 períodos; donde el modelo ARIMA se posicionó como el modelo óptimo para pronosticar la demanda luego de compararlo con el modelo de regresión de Holt Winters. A partir de los datos, el EPQ se construyó mediante simulación con el software Arena para determinar el mejor tamaño de lote de producción.

De la misma manera, Freitas et al. (2021), destaca la importancia del uso de soluciones integrales, como el modelado y la simulación, para analizar procesos complejos en sistemas modernos.

Basado en las propuestas anteriores y considerando la problemática actual, muchas empresas mayoristas enfrentan dificultades debido a una inadecuada gestión del nivel de inventario, lo que genera un exceso de gastos y una falta de control sobre los costos asociados. Esto, a su vez, se traduce inicialmente en un bajo nivel de servicio y, eventualmente, podría llevar al fracaso del negocio. Para abordar esta situación, este estudio se enfoca en analizar el comportamiento de la demanda a través de datos históricos de ventas, con el objetivo de reducir la incertidumbre entre la demanda y los niveles de inventario, asegurando una gestión más eficiente. Asimismo, se implementó una simulación que facilita un análisis más profundo de los procesos y contribuye a abordar la intensificación de la demanda de forma más eficaz.

HIPÓTESIS (Si aplica)

El uso de herramientas de previsión y simulación en la gestión de la planificación del suministro de una empresa mayorista permite obtener beneficios significativos en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y optimización de recursos.

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo y Alcance: No experimental -Descriptivo

La investigación se clasifica como no experimental- descriptivo debido a que se recolectó datos históricos de las ventas sin la manipulación de variables para extraer muestras representativas y alineadas con la realidad. Esto facilitó el análisis del comportamiento, la demanda y la obtención de conclusiones precisas y relevantes sobre ello. Asimismo, facilitó utilizar técnicas de análisis de series temporales, que brindaron una mayor flexibilidad y contribuyeron a reducir los sesgos y aproximaciones en los resultados obtenidos.

Enfoque: Cuantitativo

La investigación posee un enfoque cuantitativo, pues se trabajará en base a datos históricos proporcionados por la empresa mayorista con la ayuda de herramientas estadísticas. Es así que este enfoque hizo posible la comparación de las métricas de error del nivel de sesgo entre las series de tiempo para obtener el mejor pronóstico de ventas a corto plazo.

Técnicas e instrumentos:

Recopilación de datos

Procesamiento de datos

Lenguaje R y Python

Modelos de Series de Tiempo

Software Arena

Etapas de desarrollo de la investigación:

Inicialmente se llevó a cabo el análisis de un estudio de caso correspondiente a una empresa representativa del sector mayorista, empleando un diseño metodológico sustentado en fuentes primarias, que permita definir los métodos y herramientas a usar para combatir el problema, asegurando la rigurosidad y la confiabilidad en los resultados.

Para el estudio se tomó como segunda fase, la recopilación de datos abarcando un total de 2,900 SKU. Para el análisis e interpretación de la información recopilada sobre las ventas unitarias de la empresa, se emplearon tres métodos o técnicas. Como criterio de exclusión, se seleccionaron productos con un historial de demanda y datos de ventas de al menos 37 meses. Posteriormente, se filtraron aquellos con registros constantes, eliminando aquellos con demanda discontinua o intermitente. Para la clasificación de los productos, se aplicó la técnica ABC basada en el principio de Pareto, categorizándolos según el monto total vendido en soles. Finalmente, se obtuvo una muestra de 41 productos mediante el software IBM SPSS Statistics. Antes de su aplicación, se empleó la siguiente fórmula para calcular el tamaño de muestra finito.

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Por consiguiente, en la fase tres, se ejecutó los pronósticos de demanda a fin de realizar una comparación de las métricas de error MAPE y RMSE mediante el modelo Exponential Smoothing en el software Microsoft Excel VBA, Croston en lenguaje Python mediante la biblioteca Pycaret y el modelo Arima, a través del lenguaje de programación R en el software Rstudio como método de evaluación y verificación para obtener el mejor pronóstico de ventas en un rango de cuatro meses.

Seguidamente, en la fase cuatro, se utilizó el software Arena Simulator para asegurar una mejora significativa acompañada de una política de revisión continua mediante la determinación del punto de reorden y lote económico de cada producto, los cuales se expresan bajo las siguientes fórmulas:

$$\text{Reorder point} = D \cdot L + SS \quad (2)$$

Donde:

SS: Stock de seguridad

D: Demanda

L: Plazo de entrega de la demanda

$$\text{Economic lot (} Q \text{)} = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{h \cdot C}} \quad (3)$$

Donde:

D: Demanda anual

S: Costo de pedido por lote

h: Costo de mantenimiento porcentual anual

C: Costo unitario por producto

Finalmente, tras obtener las métricas correspondientes a los modelos de pronóstico y realizar la simulación en el software Arena, se plantearon dos propuestas de mejora.

Por un lado, se propone la aplicación del modelo ARIMA utilizando el lenguaje de programación R, con el objetivo de reducir la incertidumbre de la demanda futura, dado que presentó una mejor precisión en su proyección.

La segunda propuesta de mejora plantea la implementación de una política de revisión continua, acompañada de la optimización de los parámetros logísticos con el objetivo de minimizar significativamente la diferencia entre demanda e inventario. Asimismo, la optimización en el software Arena permite determinar el lote económico por producto para realizar el reabastecimiento minimizando los costos de mantenimiento de inventario y pedidos.

Con el objetivo de evaluar la efectividad de las mejoras propuestas para el negocio, la empresa proporcionó los resultados actuales de la utilidad en términos monetarios, los cuales fueron comparados con los obtenidos en el escenario propuesto, que considera como criterios de análisis los parámetros de la política de revisión continua y la previsión de la demanda.

La siguiente fórmula constituye un indicador para determinar la utilidad proyectada derivada de la implementación de las mejoras propuestas.

Beneficio mensual por producto:

$$\text{Utilidad} = \text{Inv Vendido} * \text{Mg Cost Log Tot} \quad (4)$$

Donde:

Inv. Vendido: Inventario vendido

Mg: Margen de utilidad

Cost. Log. Tot: Costo logístico Total

Una vez hallada la utilidad proyectada, se logró evidenciar que el beneficio asciende al monto de 156, 211 soles (moneda peruana), representando un incremento de 47.06% en promedio respecto al escenario actual.

Finalmente, para corroborar las afirmaciones presentadas, se realizó un análisis estadístico comparando los resultados de ambos escenarios en Minitab. Seguidamente, se presenta los resultados de la prueba t pareada con intervalo de confianza del 95%.

Prueba t pareada	
Hipótesis nula	H ₀ : diferencia $\mu = 0$
Hipótesis alternativa	H ₁ : diferencia $\mu \neq 0$
Valor t	2.45
Valor p	0.019

Dado que el valor p (0.019) es menor que el nivel de significancia (0.05), se rechaza la hipótesis nula (H₀), lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las utilidades de ambos escenarios. Esto sugiere que la propuesta de mejora tiene un impacto positivo en las ganancias.

Como resumen de lo anterior, la Figura 1 muestra un esquema general de las fases de la metodología.

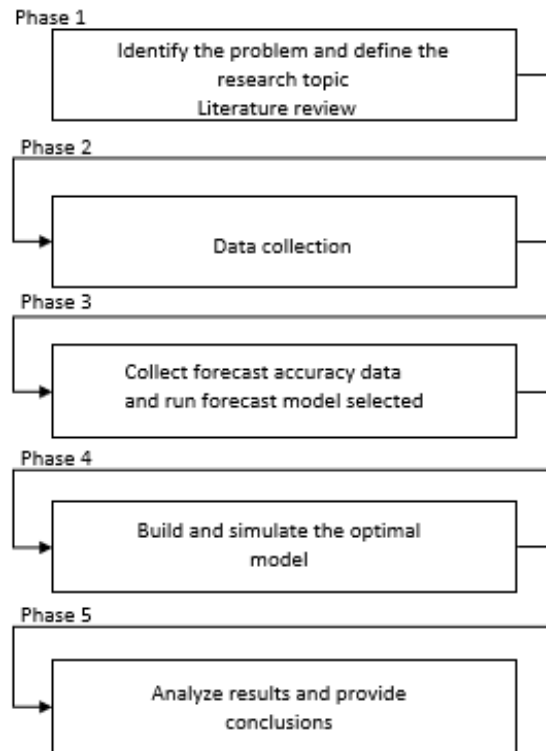


Figure 1. Diagram of the methodology phases

NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

A Dios por permitirnos y darnos la fortaleza de creer en nosotros mismos con ayuda de su guía

A nuestras familias por enseñarnos el valor de la perseverancia y el agradecimiento.

A nuestros docentes por darnos el conocimiento necesario para poder desarrollarnos de la mejor manera posible.

REFERENCIAS

Alharkan, I., Saleh, M., Ghaleb, M., Farhan, A. and Badwelan, A., Simulation-Based Optimization of a Two-Echelon Continuous Review Inventory Model with Lot Size-Dependent Lead Time, Processes, vol. 8, no. 9, pp. 1014, 2020.

Alim, M. and Beullens, P., Improving inventory system performance by selective purchasing of buyers' willingness to wait, European Journal of Operational Research, vol. 300, no. 1, pp. 124-136, 2021.

Alnahhal, M., Ahrens, D. and Salah, B., Optimizing Inventory Replenishment for Seasonal Demand with Discrete Delivery Times, Applied sciences, vol. 11, no. 23, pp. 11210, 2021.

Bandura, E., Metoinoski, J., Jadoski, G. and Ribeiro, J., Applications of the ARIMA model for time series data analysis, Applied research and agrotechnology, vol. 12, no. 3, pp. 145-150, 2021.

Benhamida, F., Kaddouri, O., Ouhrouche, T., Benaichouche, M., Casado-Mansilla, D. and Lopez, D., Demand Forecasting Tool For Inventory Control Smart Systems, *Journal of Communications Software and Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 185-196, 2021.

Freitas, H., Soares, P., Olivo, J. and Andrade, C., Development of an open-source tool for equation-oriented process simulation in Python computational language, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 20, no. 3, pp. 1-18, 2021.

Gong, M., Lian, Z. and Xiao, H. Inventory control policy for perishable products under a buyback contract, *International Journal of Production Economics*, vol. 251, no. 108522, pp. 108522, 2022.

Kourentzes, N., Trapero, J. and Barrow, D., Optimising forecasting models for inventory planning, *International Journal of Production Economics*, vol. 225, no. 107597, pp. 107597, 2020.

Morcillo, J., Burgos, A., Garza, M., Obregón, S. and Galindo, A., Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development, 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, pp. 1-15, Guayaquil, Colombia, July 19-23, 2021.

Norazira Abd, K., Anuar, N. and Puteh Salin, A., Inventory management effectiveness of a manufacturing company-Malaysian evidence, *International Journal of Law and Management*, vol. 60, no. 5, pp. 1163-1178, 2018.

Perez, H., Hubbs, C., Li, C. and Grossman, I., Algorithmic Approaches to Inventory Management Optimization, *Processes*, vol. 9, no.1, pp. 102, 2021.

Petropoulos, F., Wang, X. and Disney, S., The inventory performance of forecasting methods: Evidence from the M3 competition data, *International Journal of Forecasting*, vol. 35, no. 1, pp. 251-265, 2018.

Salas-Navarro, K., Manguel-Mejía, H. and Acevedo-Chedid, J., Inventory Management Methodology to determine the levels of. *Ingeniare-Revista chilena de ingeniería*, vol. 25, no. 2, pp. 326-337, 2017.

Spiliotis, E., Makridakis, A., Anargyros Semenoglou, A. and Assimakopoulos, V., Comparison of statistical and machine learning methods for daily SKU demand forecasting, *Springer*, vol. 22, no. 3, pp. 3037-3061, 2020.

Tao, F., Fan, T., Wang, Y. and Lai, K., Joint pricing and inventory strategies in a supply chain subject to inventory inaccuracy, *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 9, pp. 2695-2714, 2019.

Valencia-Cárdenas, M., Díaz-Serna, F. and Correa-Morales, J., Multi-product inventory modeling with demand forecasting and Bayesian optimization, *DYNA*, vol. 83, no. 198, pp. 235-243, 2016.

Vo, T., Le, P., Nguyen, N., Nguyen, T. and Do, N., Demand Forecasting and Inventory Prediction for Apparel Product using the ARIMA and Fuzzy EPQ Model, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 14, no. 2, pp. 80-89, 2021.

Wang, C., Chien, C. and Trappey, A., On the Application of ARIMA and LSTM to Predict Order Demand Based on Short Lead Time and On-Time Delivery Requirements, *Processes*, vol. 9, no. 7, pp. 1157, 2021.

ANEXO. Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Multi-product inventory modeling with demand forecasting
- **Autores:** Angie Valencia Olivares, Axel Mendoza Bojórquez
- **Co autor(es):** José Antonio Taquía Gutiérrez

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** [4th African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management](#)
- **Organizador:** IEOM Society International
- **Sede:** Lusaka, Zambia
- **Año:** 2023
- **Pp:** 10 páginas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.46254/AF04.20230091>



8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida
- ▶ N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.