

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION WITH TWO ECHELONS IN A SMALL MEDIUM ENTERPRISE PRINTING COMPANY**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Betsy Juistin Cardenas Yupanqui**

**Código 20173161**

**Shirley Nataly Garate Vasquez**

**Código 20173387**

**Asesor**

**José Antonio Taquía Gutiérrez**

Lima – Perú

Febrero de 2024

**SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION WITH TWO ECHELONS IN A SMALL MEDIUM ENTERPRISE PRINTING COMPANY**

**Betsy Juistin Cardenas Yupanqui**

[20173161@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20173161@aloe.ulima.edu.pe)

**Shirley Nataly Gárate Vásquez**

[20173387@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20173387@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

**Resumen:** Este trabajo muestra una cadena de suministro optimizada de una pequeña y mediana empresa (PYME) de impresión. La metodología utilizada se dividió en dos fases: fase I: identificación del escenario actual y análisis de insumos, y fase II: implementación del modelo con la aplicación de Python, en la cual se obtuvieron resultados de la optimización del plan de producción, plan de inventarios, plan de ventas y plan de mantenimiento. Con la validación del software, se obtuvo una maximización con un beneficio de \$598,113 anuales. Además de la modelación, es posible encontrar el número de productos a ser producidos en los siguientes meses del año; es decir, es posible prever el número de insumos necesarios para abastecer la demanda de la empresa.

**Palabras Clave:** optimización, cadena de suministro, Python, mejora de procesos

**Abstract:** This paper shows an optimized supply chain of a small-medium enterprise (SME) printing company. The methodology used was divided into two phases: phase I: identification of the current scenario and input analysis, and Phase II: implementation of the model with the application of Python, in which results were obtained from the optimization of the production plan, inventory plan, sales, plan and maintenance plan. With the validation of the software, a maximization was obtained with a profit of \$58,113 per year. In addition to the modeling, it is possible to find the number of products to be produced in the following months of the year; that is to say, it is possible to foresee the number of inputs necessary to supply the company's demand.

**Keywords:** optimization, supply chain, Python, process improvement

**Línea de investigación IDIC – ULIMA:** Productividad y Empleo – Desarrollo empresarial

**Área y Sub-áreas de Investigación:** Gestión de la Cadena de Suministro

**Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado (s) al tema de investigación.**

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, uno de los principales objetivos de las empresas es no ser superadas por su competencia, por lo que cada día buscan ser mejores entregando mayor valor a sus clientes satisfaciendo sus necesidades (Sharma et al., 2020) a través de una eficiente gestión de inventarios; esto implica la correcta administración del flujo de insumos, materias primas, materiales en proceso, productos terminados, etc. (Salas-Navarro et al., 2019). Por lo tanto, es necesario incrementar la competitividad a través de la optimización de los procesos, ya que esto mejora el uso y asignación de los recursos a lo largo de la cadena de suministro para cumplir con lo programado (Peña & Felizzola, 2020). Para todas las empresas, incluidas las del sector gráfico, es importante lograr la estabilidad económica, por lo que mejoran constantemente su proceso productivo para cumplir con los estándares de calidad, cantidad y tiempo de respuesta de sus productos (Tordecilla et al., 2021).

Además, como se sabe que las decisiones que toman las organizaciones repercuten en toda la cadena de suministro en las pequeñas y medianas empresas y que éstas se enfocan en técnicas adquiridas con la experiencia a través de los años y no siempre con algún tipo de metodología o pronóstico, en esta investigación se analizó la situación actual de una empresa de impresión, la cual no contaba con una cadena de suministro optimizada, debido a que en varios periodos no tenía inventario disponible para satisfacer su demanda, la cual era variable y desigual. Por lo tanto, se puede decir que la responsabilidad de la cadena de suministro es reducir la incertidumbre con respecto a la demanda, los tiempos de producción y la capacidad de producción (Tordecilla et al., 2021).

La buena utilización de los recursos, la información y el conocimiento en la cadena de suministro es un reto para las empresas (Manrique et al., 2019). Por esta razón, diversos autores han considerado que su optimización es de gran importancia; por ejemplo, Salas-Navarro et al. (2019) expresan que la gestión eficaz de las cadenas de suministro en una organización resulta ser un mecanismo muy efectivo para proporcionar una entrega rápida y confiable de ductos y servicios de alta calidad. Asimismo, al identificar las variables que influyen en la cadena de suministro, es posible obtener propuestas de solución que garanticen su mejora a través de la intervención en sus procesos y así facilitar el logro de su competitividad (Sablón-Cossío et al., 2021).

Una cadena de suministro se define como una red de insumos, su transformación en productos terminados y la distribución del producto final a los clientes (Salas-Navarro et al., 2018); es decir, es la relación y dependencia entre sus elementos desde su punto de origen hasta su consumo (Manrique et al., 2019). Asimismo, considerando que la gestión de inventarios se define como un conjunto de actividades transversales, de la cadena de suministro, conectadas para obtener una eficiente gestión y control de inventarios (Rau & Yupari, 2021), se debe realizar y gestionar correctamente un adecuado plan de inventarios para evitar consecuencias no deseadas reduciendo riesgos con los costos de producción, y las variaciones demanda-oferta.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de investigación se centró en optimizar la cadena de suministro de una imprenta a partir del modelamiento. Así mismo, los objetivos específicos son los siguientes:

- Identificar los índices que influyen en la cadena de suministro de la imprenta
- Diseñar y validar un modelamiento que recoja los índices de entrada a través del software Python, y obtenga los valores óptimos del plan de producción, plan de inventarios, plan de ventas y plan de mantenimiento.
- Analizar las oportunidades de mejora que se obtienen en los resultados de la modelación.

## JUSTIFICACIÓN

Diferentes trabajos utilizan herramientas para optimizar la cadena de suministro según el objetivo de cada organización (Peña & Felizzola, 2020). Encarnación (2020) menciona la importancia de la optimización en los procesos de la cadena de suministro como clave para el éxito de una empresa. Además, (Vinajera-Zamora et al., 2020) defienden que las cadenas de suministro gestionadas adecuadamente proporcionan ventajas competitivas e impactan en las organizaciones evaluando el rendimiento de los procesos productivos de una empresa. Así también, Van Foreest et al. (2018) expresan que la cadena de suministro es un sistema de organizaciones, personas, recursos, información y actividades que implican la transformación de recursos naturales, materias primas y componentes en un producto terminado que se entrega al cliente final. Asimismo, según Díaz et al., (2020) las cadenas de suministro son un eslabón frágil con puntos de ruptura debido a su alta variabilidad en el que se pueden desarrollar métodos para minimizar su riesgo.

Singh y Verma (2018) establecen la gestión de inventarios como un proceso continuo y planificado en la cadena de suministro cuyo objetivo es organizar los bienes y materiales requeridos por las empresas asegurando un equilibrio entre la demanda y la oferta. Dadouchi y Agard (2018) expresan que el campo de estudio de la cadena de suministro es consistente y que muchas de sus herramientas son exitosas; sin embargo, estas en ocasiones presentan dificultades que pueden ser resueltas ejecutando una adecuada previsión de la demanda para mantener un stock conveniente. De igual importancia, Gupta et al. (2022) muestran que aplicar la modelación como herramienta de optimización permite analizar y estimar una buena gestión de inventarios al hacer invisibles los desperdicios y no tener un stock nulo o excesivo, sino equilibrado. Darom et al. (2018) defienden que para evitar un stock insuficiente se deben evaluar los parámetros más relevantes ante posibles eventos de suministro. Así, Bean et al. (2016) argumentan que una de las dificultades en la planificación de la gestión de inventarios es la demanda incierta, por lo que se suelen asumir parámetros considerando variables ambientales en escenarios de incertidumbre para prever la demanda.

Martínez y Osorio (2018) mencionan que actualmente no existe una sistematización que lleve un control de los inventarios, sin embargo, las empresas trabajan con un sistema de revisión periódica a través de un software que puede planificar y optimizar los recursos disminuyendo la pérdida en los tiempos de producción. Taboada-González et al. (2016) demuestran que es posible optimizar el sistema de abastecimiento, de la cadena de suministro, utilizando un software que logre construir proyecciones e inventarios adecuados para las empresas. Por ejemplo, Zapata-Ruiz y Oviedo-Lopera (2019) emplearon una herramienta de simulación, para optimizar la productividad, en una réplica computacional de la situación actual de la empresa y encontraron cuellos de botella al modelar los procesos y así lograron reasignar recursos. Por otra parte, Giraldo-García et al. (2019) desarrollaron un modelo simulando el impacto de la producción con los procesos de planeación de la cadena de suministro considerando que se deben alcanzar niveles de indicadores aceptables. Un modelo que integra la simulación busca mejorar la eficiencia y eficacia de una empresa priorizando soluciones con base en criterios definidos que permitan optimizar las operaciones (Pérez et al., 2019).

## HIPÓTESIS (Si aplica)

Es posible optimizar la cadena de suministro con dos eslabones en una mediana empresa de impresión

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

El presente estudio de investigación se centró en crear un plan de producción óptimo, puesto que con ello se puede incrementar la utilidad de la empresa (Campo et al., 2019). Se aplicó una metodología experimental con cambio de escenarios que se desarrolló en dos fases con el objetivo de optimizar la cadena de suministro de una imprenta. En primer lugar, se identificó el escenario actual de la empresa: la demanda de la empresa de los principales productos, las máquinas en el área productiva de la fábrica y el tiempo de producción por cada producto en cada máquina. Luego, se establecieron los índices, los parámetros, las restricciones, el objetivo y las variables de decisión que se utilizó en el modelamiento. Posteriormente, se realizó una modelación empleando el software Python en el que se obtuvo los resultados de la optimización del plan de producción, plan de ventas, plan de inventarios y plan de mantenimiento de máquinas en la cadena de suministro de la empresa (Williams, 2020).

La investigación se llevó a cabo en una pequeña y mediana empresa (PYME) perteneciente al sector de la impresión manufacturera con catorce empleados directos. El plan de producción de la imprenta seguía un método empírico, sin utilizar ningún sistema de proyección tecnológico o basado en la demanda, lo que generó una falta de inventario durante varios periodos.

## **NOTAS (AGRADECIMIENTOS)**

Betsy Juistin Cardenas Yupanqui

- Agradezco a mi familia por su comprensión y apoyo constante a lo largo de mis estudios. A mis abuelos que desde el cielo me iluminan y motivan a seguir adelante. Y a todas las personas que de alguna forma me apoyaron a realizar este trabajo.

Shirley Nataly Gárate Vásquez

- Agradezco, en mi primer lugar, a Dios por estar siempre presente. En segundo lugar, a mi amiga Betsy Cárdenas, que sin duda fue un apoyo fundamental para la culminación de esta tesis. A mi asesor por su colaboración e interés en la elaboración en este trabajo. Finalmente, quiero reconocer los consejos y apoyo incondicional de mis padres, Elvira y Harley, porque sin su esfuerzo nunca hubiera podido llegar a donde estoy ahora.

## **REFERENCIAS**

- Bean, W., Joubert, J., & Luhandjula, M. K. (2016). Inventory management under uncertainty: A military application [Gestión de inventarios bajo incertidumbre: Una aplicación militar]. *Computers & Industrial Engineering*, 96, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.016>
- Campo, E., Cano, J., & Gómez-Montoya, R. (2020). Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(3), 461–475. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000300461>
- Dadouchi, C., & Agard, B. (2018). Lowering penalties related to stock-outs by shifting demand in product recommendation systems [Reducir las penalizaciones relacionadas con los desabastecimientos cambiando la demanda en los sistemas de recomendación de productos]. *Decision Support Systems*, 114, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.08.004>
- Darom, N. A., Hishamuddin, H., Ramli, R., & Mat Nopiah, Z. (2018). An inventory model of supply chain disruption recovery with safety stock and carbon emission consideration [Un modelo de inventario de recuperación de interrupción de la cadena de suministro con consideración de existencias de seguridad y emisiones de carbono]. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1011–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.246>
- Díaz, A., Gento Municipio, Á. M., & Marrero Delgado, F. (2020). Tools for risk management in supply chains: A review of literature [Herramientas para la gestión de riesgos en cadenas de suministro: una revisión de la literatura]. *Dirección y Organización*, 64, 5–35.

<https://doi.org/10.37610/dyo.v0i64.519>

- Encarnación, R. (2020). Optimization of the transport and internal storage of perishable products through a continuous improvement system - kaizen [Optimización del transporte y almacenamiento interno de productos perecibles mediante un sistema de mejora continua - kaizen]. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.566>
- Giraldo-García, J. A., Castrillón-Gómez, O. D., & Ruiz-Herrera, S. (2019). Discrete Simulation and Agents of a Simple Chain Supply including a Geographic Information System (GIS) [Simulación Discreta y por Agentes de una Cadena de Suministro Simple Incluyendo un Sistema de Información Geográfica (SIG)]. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 123–136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600123>
- Gupta, T. K., Mangal, D., Srivastava, V. S., Kumar, R., Gupta, V. P., & Singh, S. K. (2022). Modeling Technique—A Tool for Inventory Control in Supply Chain [Técnica de modelado: una herramienta para el control de inventario en la cadena de suministro]. *Tendencias recientes en ingeniería industrial y de producción*, 69–78. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3330-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3330-0_6)
- Manrique, M., Teves, J., Taco, A., & Morales, F. (2019). Gestión de cadena de suministro: una mirada desde la perspectiva teórica. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rvg/article/view/30168/31185>
- Martínez, N., & Osorio, J. C. (2018). Gestión de inventarios de repuestos considerando el riesgo. *Espacios*, 39, 29. Scopus. <https://www-scopus-com.ezproxy.ulima.edu.pe/record/display.uri?eid=2-s2.0-85055670507&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=f92a3cf5b156f555cd7ec2b70b2c1679&sot=a&sdt=a&sl=57&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Inventories+management+considering+risks%22%29&relpos=0&c>
- Peña, L., & Felizzola, H. (2020). Optimizing production capacity in a food company using discrete event simulation [Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos]. *Ingeniare*, 28(2), 277–292. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200277>
- Pérez, I., Monzón, W., Peña, C., De Llano, J., & Llerena, C. (2019). Aplicación de la simulación de eventos discretos a la mejora de la eficacia y la eficiencia de las operaciones de un restaurante. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 23, 507–519. [https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13426/Aplicación de la simulación de eventos discretos a la mejora de la eficacia y la eficiencia de las operaciones de un restaurante.pdf?sequence=3](https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13426/Aplicación%20de%20la%20simulación%20de%20eventos%20discretos%20a%20la%20mejora%20de%20la%20eficacia%20y%20la%20eficiencia%20de%20las%20operaciones%20de%20un%20restaurante.pdf?sequence=3)
- Rau, J., & Yupari, K. (2021). Análisis Y Propuesta De Mejora En El Sistema Logístico De Una Empresa Comercializadora De Equipos De Tratamiento De Agua. Proceedings of the 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Prospective and Trends in Technology and Skills for Sustainable Social Development” “Leveraging Emerging Technologies to Construct the Future,” 2021-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.80>
- Sablón-Cossío, N., Crespo, E. O., Pulido-Rojano, A., Acevedo-Urquiaga, A. J., & Ruiz Cedeño, S. del M. (2021). Analysis of the integration of the supply chain in the textile industry in Ecuador. A case study [Análisis de integración de la cadena de suministros en la industria textil en Ecuador. Un caso de estudio]. *Ingeniare*, 29(1), 94–108. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000100094>

- Salas-Navarro, K., Acevedo-Chedid, J., Caruso, N., & Sankar, S. S. (2018). An inventory model of three-layer supply chain of wood and furniture industry in the Caribbean region of Colombia [Un modelo de inventario de la cadena de suministro de tres capas de la industria de la madera y el mueble en la región Caribe de Colombia]. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 5(1), 69–86. <https://doi.org/10.1080/23302674.2016.1212428>
- Salas-Navarro, K., Miguél-Mejía, H., & Acevedo-Chedid, J. (2017). Metodología de Gestión de Inventarios para determinar los niveles de integración y colaboración en una cadena de suministro. *Ingeniare*, 25(2), 326–337. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000200326>
- Salas-Navarro, K., Meza, J. A., Obredor-Baldovino, T., & Mercado-Caruso, N. (2019). Evaluación de la Cadena de Suministro para Mejorar la Competitividad y Productividad en el Sector Metalmeccánico en Barranquilla, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 30(2), 25–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200025>
- Sharma, D., Taggar, R., Bindra, S., & Dhir, S. (2020). A systematic review of responsiveness to develop future research agenda: a TCCM and bibliometric analysis [Una revisión sistemática de la capacidad de respuesta para desarrollar una futura agenda de investigación: Un análisis bibliométrico y TCCM]. *Benchmarking: An International Journal*, 27(9), 2649–2677. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2019-0539>
- Singh, D., & Verma, A. (2018). Inventory Management in Supply Chain [Gestión de inventario en la Cadena de Suministro]. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3867–3872. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.641>
- Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., Ibarra-Trujillo, J., & Ramírez-Barreto, M. (2016). Optimización de un Sistema de Abastecimiento de Pintura a Concesionarios de Baja y Media Demanda. *Información Tecnológica*, 27(3), 53–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300006>
- Tordecilla, R., Juan, A., Montoya-Torres, J., Quintero-Araujo, C., & Panadero, J. (2021). Simulation-optimization methods for designing and assessing resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review [Métodos de simulación y optimización para diseñar y evaluar redes de cadenas de suministro resilientes en escenarios de incertidumbre: Una revisión]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 106, 102166. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102166>
- Van Foreest, N. D., Teunter, R. H., & Syntetos, A. A. (2018). Base-stock policies with reservations [Políticas de existencias base con reservas]. *Omega*, 81, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.09.008>
- Vinajera-Zamora, A., Marrero-Delgado, F., & Cespón-Castro, R. (2020). Evaluation of sustainable supply chain performance focused on processes [Evaluación del desempeño de la cadena de suministro sostenible enfocada en procesos]. *Estudios Gerenciales*, 36(156), 325–336. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2020.156.3699>
- Williams, H. P. (2020). *Factory Planning II* [Planificación de fábrica II]. [https://gurobi.github.io/modeling-examples/factory\\_planning\\_1\\_2/factory\\_planning\\_2.html](https://gurobi.github.io/modeling-examples/factory_planning_1_2/factory_planning_2.html)
- Zapata-Ruiz, D. L., & Oviedo-Lopera, J. C. (2019). Modelo de Simulación de Alternativas de Productividad para Apoyar los Procesos de Toma de Decisiones en Empresas del Sector Floricultor Antioqueño. *Información Tecnológica*, 30(2), 57–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200057>

## **ANEXO. Datos del artículo publicado**

- **Nombre del artículo:** Supply Chain Optimization with Two Echelons in a Small Medium Enterprise Printing Company
- **Autores:** Betsy Juistin Cardenas Yupanqui – Shirley Nataly Gárate Vásquez
- **Co autor(es):** José Antonio Taquíá Gutiérrez

### **Publicación en revista**

- **Nombre de la revista:** Journal of Advanced Management Science
- **Volumen:** 11
- **Número:** 4
- **Año:** 2023
- **Pp:** 174-180
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** DOI: 10.18178/joams.11.4.174-180





## G4\_turnitin

### INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Harper Adams University College

Trabajo del estudiante

1%

2

[www.scielo.cl](http://www.scielo.cl)

Fuente de Internet

1%

3

[social.technet.microsoft.com](http://social.technet.microsoft.com)

Fuente de Internet

1%

4

[www.grafiati.com](http://www.grafiati.com)

Fuente de Internet

1%

5

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

6

[www.authorstream.com](http://www.authorstream.com)

Fuente de Internet

1%

7

[repositorio.usil.edu.pe](http://repositorio.usil.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

8

Anny del Mar Agamez Arias. "Modelos de optimización para el diseño estratégico-táctico de una red de transporte intermodal", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

1%