

DOI: 10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.948-955

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2564>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 53 Ciencias Económicas

PAGINAS: 948-955







Optimización matemática en la cadena de suministro: Estrategias para mejorar la eficiencia operativa en empresas

Mathematical optimization in the supply chain: Strategies to improve
operational efficiency in companies

Otimização matemática na cadeia de abastecimento: Estratégias para
melhorar a eficiência operacional das empresas

**Edwin Miguel Baque Parrales¹; María Teresa Ayón Lucio²; Tania Lisbeth Macias Villacreses³;
Adriana Leonor Salazar Moran⁴**

RECIBIDO: 28/01/2025 **ACEPTADO:** 25/02/2025 **PUBLICADO:** 19/03/2025

1. Magíster en Ingeniería Civil - Mención Vialidad; Ingeniero Civil; Docente de la Facultad de Ciencias Económicas Carrera Administración de Empresas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador; edwin.baque@unesum.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-5722-3377>
2. Magíster en Administración Pública; Ingeniera en Comercio Exterior y Negocios Internacionales; Docente de la Unidad de Admisión y Nivelación del PII 2021 y PI2022 de la Carrera de Administración de Empresas en la Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador; maria.ayon@unesum.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-5293-8787>
3. Magíster en Dirección y Asesoramiento Financiero; Economista; Docente de la Carrera de Administración de Empresas de la Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador; lisbeth.macias@unesum.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-3105-0097>
4. Magíster en Administración Pública; Economista; Docente de la Facultad de Ciencias Económicas en la Universidad Estatal del Sur de Manabí; Jipijapa, Ecuador; adriana.salazar@unesum.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-0359-5797>

CORRESPONDENCIA

Edwin Miguel Baque Parrales
edwin.baque@unesum.edu.ec

Jipijapa, Ecuador

RESUMEN

Este artículo proporciona una síntesis del concepto de optimización de la cadena de suministro. El objetivo de la investigación es identificar un proceso de optimización de la cadena de suministro, los aspectos clave para llevar a cabo este proceso, y al mismo tiempo enfatizar las ventajas que aporta la optimización de los procesos de las empresas a través de la modelización matemática de procesos logísticos que pueden ser útiles en la optimización de las cadenas de suministro. En la metodología de investigación se utiliza el algoritmo de transporte Simplex. En una situación práctica de una empresa con 3 almacenes y 4 clientes, permitió optimizar las rutas de transporte y obtener un costo total mínimo para la entrega logística.

Palabras clave: Gestión de la cadena de suministro, Optimización, Modelación matemática, Transporte, Gestión de riesgos.

ABSTRACT

This article provides a synthesis of the concept of supply chain optimization. The aim of the research is to identify a supply chain optimization process, the key aspects to carry out this process, and at the same time to emphasize the advantages of optimizing company processes through mathematical modeling of logistics processes that can be useful in optimizing supply chains. The Simplex transportation algorithm is used in the research methodology. In a practical situation of a company with 3 warehouses and 4 customers, it allowed to optimize transportation routes and obtain a minimum total cost for logistics delivery.

Keywords: Supply chain management, Optimization, Mathematical modeling, Transportation, Risk management.

RESUMO

Este artigo apresenta uma síntese do conceito de otimização da cadeia de abastecimento. O objetivo da investigação é identificar um processo de otimização da cadeia de abastecimento, os aspectos-chave para realizar este processo e, ao mesmo tempo, realçar as vantagens de otimizar os processos da empresa através da modelação matemática dos processos logísticos que podem ser úteis na otimização das cadeias de abastecimento. Na metodologia de investigação é utilizado o algoritmo de transporte Simplex. Numa situação prática de uma empresa com 3 armazéns e 4 clientes, permitiu otimizar as rotas de transporte e obter um custo total mínimo para a entrega logística.

Palavras-chave: Gestão da cadeia de abastecimento, Otimização, Modelação matemática, Transportes, Gestão do risco.

Introducción

La cadena de suministro es un sistema de organizaciones, personas, tecnología, actividades, información y recursos involucrados en el traslado de un producto o servicio desde el proveedor hasta el cliente. Las actividades de la cadena de suministro transforman los recursos naturales, las materias primas y los componentes en un producto terminado, que luego se entrega al cliente final. La cadena de suministro incorpora el proceso de producción junto con la compra de materias primas y la distribución de productos terminados, abarcando todo el proceso existente responsable de la transformación de los materiales tomados del proveedor a los productos terminados entregados a los clientes (1).

La cadena de suministro también puede definirse como una cadena de satisfacción de la demanda por parte de varias empresas o como una cadena de valor (2). La gestión de la cadena de suministro incluye la planificación y gestión de todas las actividades involucradas en el proceso de adquisición y recepción desde la fuente, la conversión y la gestión de todas las actividades logísticas. Esto incluye la coordinación y colaboración con socios en el mismo canal de comunicación, que pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de servicios externos y clientes. Esencialmente, la gestión de la cadena de suministro integra la gestión de la oferta y la demanda dentro de las empresas y entre ellas. Esto incluye todas las actividades de gestión logística mencionadas anteriormente, así como las operaciones de fabricación, pero también la dirección de la coordinación de procesos y las actividades de marketing, ventas, diseño de productos, finanzas y tecnología de la información (3).

La gestión de las actividades logísticas también puede definirse como el conjunto de procesos de gestión estratégica para la adquisición, el movimiento y el almacenamiento de materias primas, productos semiacabados y productos terminados, dentro

de la empresa y los canales de suministro y distribución, con el objetivo de satisfacer los pedidos con los costos más bajos para la empresa y la creación de valor agregado (4). Debido a su naturaleza global y a su impacto sistémico en el rendimiento financiero de una empresa, podría decirse que la cadena de suministro se enfrenta a más riesgos que otras áreas de la empresa. El riesgo es un hecho de la vida para cualquier cadena de suministro, ya sea relacionado con la calidad y la seguridad, la escasez de materiales en la producción, los problemas legales, la seguridad, los problemas de cumplimiento normativo y ambiental, los desastres naturales o el terrorismo: siempre hay un elemento de riesgo (5). Dentro de las organizaciones, los riesgos pueden surgir bajo diferentes aspectos: evolución del mercado, fracasos de proyectos, accidentes, desastres naturales, etc. La importancia de una adecuada evaluación y priorización de riesgos es significativa (6).

La implementación de la gestión de la cadena de suministro en la industria puede ayudar a reducir costos, aumentar las ganancias de la empresa en la gestión de suministros y la gestión de la planificación de entregas (7). Por otro lado, la importancia de la gestión de la cadena de suministro también viene dada por el aspecto de la sostenibilidad, ya que los recursos disponibles en nuestro mundo están disminuyendo y los efectos del cambio climático y la degradación ambiental están aumentando. La gestión de riesgos de la cadena de suministro es la identificación, evaluación y cuantificación sistemáticas de las posibles interrupciones de la cadena, con el objetivo de controlar la exposición al riesgo y reducir su impacto negativo en el rendimiento alcanzado (8).

Según un estudio de Tordecilla et al. (9), las estrategias de gestión de riesgos adoptadas dependen del tipo de incertidumbre que enfrentan las empresas a nivel logístico y, en menor medida, de la industria en la que opera la empresa. Además, otros factores como el país de origen, el tamaño de la empresa o el tipo de empresa no ejercen

ninguna influencia significativa. Según estimaciones, se espera que el mercado logístico mundial crezca hasta los 12.680 millones de dólares en 2025, pero la pandemia de COVID-19 ha demostrado cómo un imprevisto puede revelar la vulnerabilidad de las cadenas de suministro e implícitamente, la ineficiencia de la logística. La logística es una parte fundamental que conecta a los diferentes actores de la cadena de suministro e influye en gran medida en la utilización general de los recursos y en el rendimiento empresarial (10). Debido a los crecientes y más frecuentes problemas que han aparecido recientemente en todas las cadenas de suministro del mapa mundial, los especialistas consideraron oportuno implementar y desarrollar modelos matemáticos que condujeran a la minimización de estos problemas y en consecuencia a la eficiencia de las cadenas de suministro. Un análisis de estos modelos a lo largo de las últimas dos décadas se realizó en un estudio realizado por Suryawanshi et al. (11). Un análisis más reciente de la literatura especializada es propuesto por Kang et al. (12) en un artículo en el que los modelos matemáticos recopilados se basan principalmente en programación lineal y mixta basada en números enteros y que utilizan variantes de optimización de la cadena de suministro, programación estocástica y optimización robusta.

El objetivo de este artículo es demostrar la efectividad de los modelos matemáticos en la optimización de las cadenas de suministro con el apoyo de un algoritmo adecuado para la modelización de procesos logísticos.

Metodología

La metodología del estudio consistió en identificar las opiniones de especialistas sobre el proceso de optimización de la cadena de suministro, los aspectos clave en llevar a cabo este proceso, y al mismo tiempo enfatizar las ventajas que aporta la optimización de los procesos de las empresas a través de la modelación matemática de los procesos logísticos.

En este sentido, se empleó el algoritmo de transporte Simplex. Esto es útil para optimizar el algoritmo de transporte que optimiza las rutas para que el costo total sea mínimo. Para organizar el transporte de la manera más eficiente posible, necesitamos saber cuáles son todas las rutas de transporte posibles y cuál es el costo de cada ruta. Identificar la mejor ruta implica encontrar la combinación óptima entre la cantidad transportada desde cada almacén y su destinatario, con el mínimo coste de transporte.

El algoritmo de transporte Simplex modela una situación económica en la que "n" consumidores (beneficiarios) son abastecidos desde m centros (fuentes, almacenes).

Resolver un problema de transporte utilizando el algoritmo Simplex implica pasar por dos etapas:

1. Encontrar una solución inicial factible utilizando el método de la esquina noroeste o el método del costo unitario
2. Encontrar la solución óptima utilizando el método de distribución modificado (MODI) y los métodos Stepping Stone.

Resultados

Se parte de la idea de que una empresa que tiene 3 almacenes (D1, D2 y D3) necesita enviar productos a 4 clientes (C1, C2, C3 y C4). Se conocen las cantidades disponibles en cada almacén, las cantidades solicitadas por cada cliente, así como los costes unitarios de transporte, expresados en u.m. (unidades monetarias), (escritos en la esquina superior derecha de cada celda de la tabla de transporte – Tabla 1).

Tabla 1. Datos iniciales para el problema de transporte

| | C1 | C2 | C3 | C4 | Available quantity |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|
| D1 | 3 | 2 | 7 | 6 | 5000 |
| D2 | 7 | 5 | 2 | 3 | 6000 |
| D3 | 2 | 5 | 4 | 5 | 2500 |
| Requested quantity | 6000 | 4000 | 2000 | 1500 | |

En el primer paso para resolver este problema se comprobará si el problema está equilibrado o no. Un problema se equilibra si la suma de las cantidades disponibles en los almacenes es igual a la suma de las cantidades demandadas por los clientes. Haciendo los cálculos se determina que la suma de la cantidad disponible (5000+6000+2500) es igual a la suma de las cantidades solicitadas (6000+4000+2000+1500), respectivamente iguales a 13.500 m.u.

El siguiente paso es identificar una solución inicial, que se puede obtener como se dijo antes, ya sea con el método de la esquina N-W o con el método del costo mínimo.

El método de esquina N-W implica los siguientes pasos:

1. Se identifica la esquina noroeste de la mesa de transporte.
2. A la ruta relacionada con la ubicada en la esquina N-W de la tabla de transporte se le asigna un caudal máximo determinado como el mínimo de la cantidad disponible en el almacén ubicado en la ruta respectiva y la cantidad solicitada por el beneficiario ubicado en la misma ruta.
3. Las dos cantidades (la cantidad disponible y la cantidad solicitada) se reducen con el caudal asignado a la celda y la línea y/o columna que, después de la asignación permaneciendo con una cantidad cero, se eliminan de la tabla de transporte.
4. El paso anterior se repite hasta que se asignan todas las cantidades disponibles.

La solución resultante es una solución factible (una solución que satisface los requisitos del problema). Se calcula el esfuerzo de transporte (coste total de transporte) relacionado con la solución obtenida. Si se aplica este método, resulta en la solución que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Solución inicial encontrada con el método de esquina N-W

| | C1 | C2 | C3 | C4 | Available quantity |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| D1 | 3 5000 | 2 | 7 | 6 | 5000 |
| D2 | 7 1000 | 5 4000 | 2 1000 | 3 | 6000 |
| D3 | 2 | 5 | 4 1000 | 5 1500 | 2500 |
| Requested quantity | 6000 | 4000 | 2000 | 1500 | 13.500 |

Como se puede ver, el cliente 1 recibirá 5000 productos del almacén 1 y 1000 productos del almacén 2. El cliente 2 recibirá la cantidad total solicitada de 4000 piezas del almacén D2. Al cliente 3 se le suministrarán 1000 piezas de cada uno de los almacenes D2 y D3. El cliente 4 recibirá la mercancía del almacén 3.

Esta solución supone un coste total de 55.500 u.m., obtenido sumando los productos entre la cantidad asignada y el coste unitario de transporte, por cada celda ocupada de la Tabla 2:

$$(5000 \times 3 + 1000 \times 7 + 4000 \times 5 + 1000 \times 2 + 1000 \times 4 + 1500 \times 5).$$

Una celda se considera ocupada si se transporta una cierta cantidad en la ruta correspondiente a la celda. La segunda opción para identificar la solución inicial fue el método del costo unitario mínimo. Para aplicar este método, se identifica la celda o celdas para las que el coste unitario de transporte es mínimo. Si hay muchas celdas de este tipo, comience con la que permita el flujo máximo más alto. A la celda así encontrada se le asigna el caudal máximo determinado como el mínimo entre la cantidad disponible en el proveedor en las rutas

respectivas y la cantidad solicitada por el beneficiario en la misma ruta. Disminuya la cantidad disponible y la cantidad solicitada con el flujo asignado, eliminando la fila y/o columna para la cual la cantidad se convirtió en cero después de la asignación.

El paso se repite hasta que se asignan todas las cantidades disponibles. Se calcula el esfuerzo total de transporte relacionado con la solución factible obtenida. El resultado obtenido con este método se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Solución inicial encontrada con el método de costo unitario mínimo

| | C1 | C2 | C3 | C4 | Available quantity |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|
| D1 | 1000 | 4000 | | | 5000 |
| D2 | 2500 | | 2000 | 1500 | 6000 |
| D3 | 2500 | | | | 2500 |
| Requested quantity | 6000 | 4000 | 2000 | 1500 | 13.500 |

La solución identificada supone que el primer cliente recibe 1000 productos del primer almacén y 2500 productos de cada uno de los almacenes 2 y 3. El cliente 2 recibirá la cantidad total solicitada de 4000 piezas del almacén D1. Al cliente 3 y al cliente 4 se les suministrará la cantidad total de 2000 piezas y 1500 piezas respectivamente del almacén D2. El coste total en esta situación es inferior al anterior, siendo de 42.000 m.u. que se calcula de la siguiente manera:

$$(1000 \times 3 + 4000 \times 2 + 2500 \times 7 + 2000 \times 2 + 1500 \times 3 + 2500 \times 2).$$

Muestra que por el segundo método encontramos una solución mejor que la original. El siguiente paso sería probar si la segunda solución es también la solución óptima de este método. Para ello primero se recurre al método MODI. Comprobamos si la solución inicial es o no degenerada. Una solución no es degenerada si comprueba la condición:

$$m+n-1 = \text{No. de celdas ocupadas} \quad (1)$$

donde m = no. de depósitos y n = no. de los beneficiarios.

En el caso práctico que se está estudiando se tienen 3 depósitos y 4 beneficiarios, que conducen a la obtención del resultado 6 y corresponden al número de celdas ocupadas en la solución obtenida. Para las celdas ocupadas se resolvera el sistema de ecuaciones de la forma:

$$f_i + d_j = C_{ij} \quad (2)$$

donde: f_i - son variables asociadas a cada depósito, d_j - son variables asociadas a cada beneficiario, c_{ij} - es el costo unitario de transporte desde el almacén i hasta el beneficiario j .

El sistema de ecuaciones se resuelve dando un valor arbitrario a una de las incógnitas. Para las celdas libres resolveremos el sistema de ecuaciones de la forma:

$$e_{ij} = C_{ij} - f_i - d_j \quad (3)$$

Si todos los valores son positivos o iguales a cero, la solución verificada es la solución óptima. De lo contrario, la celda para la que e_{ij} tiene el valor más bajo entre los valores negativos (si hay varias celdas con el mismo valor, se elige cualquiera), esa celda se denomina celda de entrada en la tabla de transporte. La variable e_{ij} tiene el significado de economía en costes unitarios de transporte y nos indica qué economía se logrará en la siguiente solución si se utiliza la ruta relacionada con esa celda.

Siguiendo los cálculos, se tiene que la solución probada no es la óptima, obteniendo un valor negativo de la economía a costos unitarios de transporte, en la intersección del almacén 2 con el cliente 2. Esta celda se considera la celda de entrada para el método Stepping Stone, que identificará la celda de salida en la tabla de transporte. Para ello, la mesa de transporte se asimila a un charco de agua y las celdas ocupadas a piedras que sobresalen por encima de la superficie del agua (y se pueden pisar). A partir de la celda de entrada en la tabla de

transporte, se busca una ruta que regrese al punto de partida, respetando las siguientes reglas:

1. El movimiento es solo horizontal o vertical
2. A cada paso sólo en las piedras o en la celda de entrada.
3. Después de cada paso, la dirección de la marcha cambia 90 grados a la izquierda o a la derecha.

Nota: A cada paso se puede saltar sobre otras rocas o sobre otras superficies de agua.

Tabla 4. Método Stepping Stone - piscina de agua

| | C1 | C2 | C3 | C4 | Available quantity | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| D1 | 1000 + 3 | 4000 - 2 | 7 | 6 | 5000 | | |
| D2 | 2500 - 7 | 4000 + 5 | 2000 | 1500 | 2 | 3 | 6000 |
| D3 | 2500 | 2 | 5 | 4 | 5 | 2500 | |
| Requested quantity | 6000 | 4000 | 2000 | 1500 | | 13.500 | 13.500 |

input cell

La celda de entrada se marca con el signo + y, alternativamente, con los signos -, +, -, las otras celdas en la ruta encontrada anteriormente. Se calcula el mínimo de los flujos de las celdas marcadas con el signo -, y con el valor obtenido se procede de la siguiente manera: los flujos de las celdas marcadas con el signo - disminuyen en el valor determinado y los flujos de las celdas marcadas con el signo + se incrementan en el mismo valor.

Después de esta operación, una o más celdas tendrán el flujo 0; Esas celdas se denominan celdas de salida en la tabla de transporte. Se ha obtenido la solución al problema tal y como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Solución óptima utilizando el método Stepping Stone

| | C1 | C2 | C3 | C4 | Available quantity | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|------|
| D1 | 3500 | 3 | 1500 | 2 | 7 | 6 | 5000 | |
| D2 | | 7 | 2500 | 5 | 2 | 1500 | 3 | 6000 |
| D3 | 2500 | 2 | 5 | 4 | 5 | 2500 | | |
| Requested quantity | 6000 | 4000 | 2000 | 1500 | | 13.500 | 13.500 | |

Para esta solución, el costo total es de 39.500 u.m., que se calcula de la siguiente manera:

$$(3500 \times 3 + 1500 \times 2 + 2500 \times 5 + 2000 \times 2 + 1500 \times 3 + 2500 \times 2).$$

Es el valor más bajo obtenido hasta ahora, lo que implica una economía de 16.000.m u. en comparación con la primera solución. Por lo tanto, la solución al problema analizado supone que el primer cliente recibe 3500 productos del almacén D1 y 2500 productos del almacén D3, el segundo cliente recibe 1500 y 2500 productos respectivamente de los almacenes D1 y D2, y los clientes C3 y C4 reciben la cantidad total solicitada (2000 y 1500 productos respectivamente) del almacén D2.

Conclusión

Tradicionalmente, las cadenas de suministro se ven desde la perspectiva de varias organizaciones que trabajan juntas, desde los proveedores hasta los consumidores finales, o bien, se asocian con diferentes tipos de flujos (por ejemplo, materiales o financieros) pertenecientes a ciertos procesos, como la compra, la producción y la distribución. Implementar una cadena de suministro sostenible no es algo que se pueda hacer de la noche a la mañana. Esto debe ser parte de un deseo genuino de cambio real, un cambio que primero debe provenir de los ejecutivos de una empresa y luego ser promulgado por cada miembro de cada empresa dentro de una cadena de suministro.

Según un estudio realizado por varios investigadores chinos (12), la implementación de programas de gestión de riesgos más efectivos en las cadenas de suministro, basados en tecnologías avanzadas de inteligencia artificial como el aprendizaje automático (ML), puede proporcionar predicciones futuras mucho mejores. Los algoritmos de ML funcionan bien en la identificación de factores de riesgo anómalos y en la obtención de información predictiva a partir de conjuntos de datos históricos. Otro punto de vista es el ofrecido por Becerra y Sanchis (13), quienes afirman que existe una tendencia en algunas empresas a considerar la existencia no de una, sino de varias cadenas de suministro dentro de la organización.

Bibliografía

- Fakhrzad MB, Goodarzian F. A new multi-objective mathematical model for a Citrus supply chain network design: Metaheuristic algorithms. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*. 2021;14(2):111–28.
- Ebrahimi SB, Bagheri E. Optimizing profit and reliability using a bi-objective mathematical model for oil and gas supply chain under disruption risks. *Comput Ind Eng*. 2022;163:107849.
- Sana SS. A structural mathematical model on two echelon supply chain system. *Ann Oper Res*. 2022;315(2):1997–2025.
- Hosseini-Motlagh SM, Samani MRG, Abbasi Saadi F. Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study. *Operational research*. 2021;21(3):1487–527.
- Paul SK, Chowdhury P, Chakraborty RK, Ivanov D, Sallam K. A mathematical model for managing the multi-dimensional impacts of the COVID-19 pandemic in supply chain of a high-demand item. *Ann Oper Res*. 2022;1–46.
- Abaku EA, Edunjobi TE, Odimarha AC. Theoretical approaches to AI in supply chain optimization: Pathways to efficiency and resilience. *International Journal of Science and Technology Research Archive*. 2024;6(1):92–107.
- Tirkolaee EB, Sadeghi S, Mooseloo FM, Vandchali HR, Aeni S. Application of machine learning in supply chain management: a comprehensive overview of the main areas. *Math Probl Eng*. 2021;2021(1):1476043.
- Nagurney A. Optimization of supply chain networks with inclusion of labor: Applications to COVID-19 pandemic disruptions. *Int J Prod Econ*. 2021;235:108080.
- Tordecilla RD, Juan AA, Montoya-Torres JR, Quintero-Araujo CL, Panadero J. Simulation-optimization methods for designing and assessing resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review. *Simul Model Pract Theory*. 2021;106:102166.
- Van Engeland J, Beliën J, De Boeck L, De Jaeger S. Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains. *Omega (Westport)*. 2020;91:102012.
- Suryawanshi P, Dutta P. Optimization models for supply chains under risk, uncertainty, and resilience: A state-of-the-art review and future research directions. *Transp Res E Logist Transp Rev*. 2022;157:102553.
- Kang S, Heo S, Realf MJ, Lee JH. Three-stage design of high-resolution microalgae-based biofuel supply chain using geographic information system. *Appl Energy*. 2020;265:114773.
- Becerra P, Mula J, Sanchis R. Sustainable inventory management in supply chains: Trends and further research. *Sustainability*. 2022;14(5):2613.

CITAR ESTE ARTICULO:

Baque Parrales, E. M., Ayón Lucio, M. T., Macias Villacreses, T. L., & Salazar Moran, A. L. (2025). Optimización matemática en la cadena de suministro: Estrategias para mejorar la eficiencia operativa en empresas. *RECIMUNDO*, 9(1), 948–955. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(1\).enero.2025.948-955](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.948-955)



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.