



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 22/ Edición N.43
Enero - junio 2025
Reia4330 pp. 1-17

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Pantoja Diaz, J. J.; Colonias Murillas, S.
A. y Henao Ordoñez, F. Y.

Diseño de una Red Multi-Eslabón,
Multi-Producto y Multi-Cliente
de una Empresa Fabricadora y
Comercializadora de Leche

Revista EIA, 22(43), Reia4330 pp. 1-17
<https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1782>

✉ *Autor de correspondencia:*

Henao Ordoñez, F. Y.
Ingeniero Industrial
Correo electrónico:
frank.henao@uniminuto.edu.co

Recibido: 08-05-2024

Aceptado: 10-12-2024

Disponible online: 01-01-2025

Diseño de una Red Multi-Eslabón, Multi-Producto y Multi-Cliente de una Empresa Fabricadora y Comercializadora de Leche

JONNY JAIR PANTOJA DIAZ¹

SAID ADOLFO COLONIAS MURILLAS¹

✉ FRANK YINNER HENAO ORDOÑEZ¹

1. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia

Resumen

El artículo describe un estudio sobre la optimización de una red Multi-Eslabón, Multi-Producto y Multi-Cliente de una empresa fabricante y comercializadora de leche en Colombia, mediante la propuesta de un modelo matemático. Se divide en tres fases: definición de objetivos y recolección de datos, modelado matemático en AMPL y resolución del modelo. Los resultados muestran la configuración óptima de la red de distribución, identificando centros de acopio y distribución y analizando el cumplimiento de la demanda de los clientes. El modelo proporciona una solución clara y eficaz para mejorar la eficiencia operativa y la competitividad de la empresa.

Palabras claves: Cadena de abastecimiento, Red Multi-Eslabón, Optimización, AMPL, Distribución, Lácteos

Design of a Multi-Stage, Multi-Product, and Multi-Customer Network for a Milk Manufacturing and Marketing Company.

Abstract

The article describes a study on optimizing a Multi-Node, Multi-Product, and Multi-Customer network of a milk manufacturing and marketing company in Colombia through the proposal of a mathematical model. It is divided into three phases: definition of objectives and data collection, mathematical modeling in AMPL, and resolution of the model. The results show the optimal configuration of the distribution network, identifying collection and distribution centers, and analyzing customer demand fulfillment. The model provides a clear and effective solution to improve operational efficiency and competitiveness of the company.

Keywords: Supply Chain, Multi-Node Network, Optimization, AMPL, Distribution, Dairy Products

1. Introducción

La cadena de abastecimiento, también conocida como cadena de suministro, es el sistema vital que impulsa la fluidez y eficiencia de las operaciones comerciales en todo el mundo. Desde la producción de materias primas hasta la entrega de productos terminados a los consumidores, la cadena de abastecimiento es un proceso complejo y meticulosamente trabajado que define el éxito y la competitividad de las empresas en la economía actual. La cadena de abastecimiento abarca la gestión y coordinación de una serie interconectada de actividades: adquisición de materias primas, producción, almacenamiento, transporte y distribución. Cada eslabón de esta cadena juega un papel crucial en la capacidad de una empresa para satisfacer la demanda del mercado, minimizar costos y mantener la calidad de sus productos o servicios (Agudelo et al., 2018; Campoverde et al., 2019; Goyzueta Meneses, 2021).

Las cadenas de abastecimiento desempeñan un papel fundamental en la distribución eficiente de productos en una amplia variedad de industrias, y la industria láctea no es la excepción. La demanda constante de productos lácteos, como la leche, requiere una planificación y gestión minuciosa de la cadena de suministro para garantizar que los productos lleguen a los consumidores de manera oportuna y económica. En este contexto, la utilización de herramientas avanzadas de modelación y optimización se han convertido en una necesidad crítica para las empresas de la industria láctea (Goyzueta Meneses, 2021; Guzmán et al., 2020).

La cadena de abastecimiento láctea involucra múltiples elementos interconectados: la producción de leche en las granjas, el procesamiento en las instalaciones de producción, el transporte y la distribución, y finalmente, la entrega de productos lácteos a los puntos de venta. Cada uno de estos componentes presenta desafíos específicos que pueden abordarse mediante la optimización (Afzal & Dalheim, 2022; Campoverde et al., 2019).

Es imperativo tener presente que, en el transporte de leche y otros productos lácteos, el tiempo es un recurso escaso y la eficiencia resulta crucial. Los procesadores de lácteos deben abordar el transporte de su mercancía de manera sumamente eficaz si pretenden minimizar los gastos operativos, al mismo tiempo que garantizan la integridad y seguridad alimentaria. En este contexto, la logística precisa y ágil se convierte en un elemento esencial para el éxito. Implementar estrategias que optimicen los tiempos de entrega y aseguren las condiciones adecuadas de almacenamiento es esencial para mantener la calidad de los productos lácteos y, al mismo tiempo, optimizar la gestión de costos operativos. Este enfoque proactivo no sólo preserva la frescura de los productos, sino que también contribuye a la sostenibilidad y rentabilidad del proceso logístico (Mitchell, 2021).

En su investigación de revisión (Guzmán et al., 2020) menciona el creciente uso de los modelos matemáticos y analíticos, enfocando al área o proceso, siendo los más utilizados la programación lineal/entera/entera-mixta.

Los modelos matemáticos de optimización emergen como una alternativa estratégica para potenciar las operaciones dentro de las cadenas de abastecimiento empresariales. Su aplicación no solo representa una mejora significativa en la eficiencia de las actividades logísticas, sino que también se erige como una herramienta valiosa para la toma de decisiones estratégicas. Al adoptar estos modelos, las empresas pueden optimizar la asignación de recursos, mejorar los tiempos de entrega y reducir los costos operativos. Este enfoque no solo contribuye a la optimización de los procesos actuales, sino que también sienta las bases para una cadena de suministro más ágil, adaptable y resistente frente a los desafíos del entorno empresarial actual (Ribas Vila & Companys Pascual, 2007).

Más allá de analizar el modelo en sí, resulta crucial considerar que la decisión de implementar un modelo matemático de optimización a menudo está vinculada no solo a las características intrínsecas del modelo, sino también a un manejo inadecuado de los recursos. En algunas instancias, esta elección puede estar motivada por la presencia de eventos casi catastróficos que han provocado rupturas económicas a niveles locales o globales. Es decir, las empresas suelen adoptar estos enfoques de manera reactiva, respondiendo a situaciones críticas. Esta tendencia sugiere la necesidad de fomentar una cultura más proactiva en la implementación de modelos de optimización, anticipándose a posibles desafíos y promoviendo una gestión más estratégica de los recursos (Hernández Pajares, 2020).

En su artículo “VRP Model with time window, Multiproduct and Multidepot” (Ruiz-Meza, Montes, Pérez, & Ramos-Márquez, 2020), los autores resaltan la importancia crucial del transporte en la cadena de suministro y proponen un modelo de ruteo con múltiples depósitos, productos variados, una flota diversa y ventanas de tiempo estrictas. Su objetivo es mejorar la eficiencia del transporte y reducir costos para las empresas. Al implementar este modelo en un estudio de caso, observan una reducción significativa en la distancia recorrida, hasta un 35%, lo que valida su efectividad como herramienta competitiva. Esta contribución no solo optimiza la logística empresarial, sino que

también muestra un enfoque innovador y estratégico en la gestión del transporte dentro de la cadena de suministro.

En el trabajo de investigación “Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos considerando ventanas de tiempo y flota homogénea para una distribuidora de frutas de norte del Valle” (López Cardona & Diaz Camacho, 2017) los autores desarrollan un modelo de VRP (Vehicle Routing Problem) con ventanas de tiempo para abordar la complejidad de la distribución semanal de productos en una empresa distribuidora de frutas ubicada en el norte del Valle del Cauca. El modelo propuesto contempla 22 clientes, una flota homogénea de vehículos, ventanas de tiempo, restricciones de demanda y capacidad de carga de los vehículos. Además, tiene en cuenta los días específicos de despacho, es decir, plantea un modelo de planificación para los lunes, miércoles y viernes. El objetivo central del modelo es minimizar los costos asociados a la planificación semanal de la distribución de productos. Según los autores, el modelo logra reducir en un 12% el costo total de las 21 rutas semanales, equivalente a una disminución de USD 489,665.19. Para validar la eficiencia del modelo, se sometió a pruebas variando diversos componentes, como el número de clientes atendidos, variaciones en la demanda y ajustes en la capacidad de carga de los camiones de la flota. Los resultados obtenidos respaldan la eficacia del modelo propuesto, proporcionando soluciones aplicables a los desafíos específicos que enfrenta la empresa objeto de estudio.

La tecnología actual, junto con la capacidad de cálculo de los ordenadores (Burg & Ausubel, 2021), ha simplificado el análisis de las complejas situaciones vinculadas a la planificación de rutas, dando lugar a una diversidad de modelos de ruteo (Vidal, Laporte, & Matl, 2020). Estos modelos, que enriquecen notablemente la literatura, abordan muchos de los desafíos contemporáneos que los planificadores de transporte enfrentan en su quehacer diario. Esta convergencia de tecnología avanzada y modelos especializados no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también demuestra ser esencial para la toma de decisiones estratégicas y la resolución de problemas logísticos en el ámbito del transporte. El uso del

modelo matemático AMPL permite conocer la solución acorde al objetivo planteado, como menciona (Afzal & Dalheim, 2022) el uso de modelación matemática permitió que se definiera la opción factible con menor coste y mayor eficiencia en el planteamiento del problema.

Con el objetivo de abordar el problema de distribución en la red de manera efectiva, este trabajo propone el diseño de un modelo matemático lineal entero mixto. El objetivo principal es minimizar el costo total logístico en una red Multi-Eslabón, Multi-Producto y Multi-Cliente. Este modelo tiene en cuenta diversos aspectos, como la capacidad, los costos de transporte y la demanda, entre otros. Es importante destacar que algunos elementos necesarios no se consideran, contemplando que ya están definidos como el modo de transporte y no se justifica en el alcance de esta investigación.

2. Metodología

De acuerdo a la necesidad establecida, se optó por definir 3 fases para el desarrollo del documento y definir una solución para el problema caso de estudio, siendo las siguientes:

Fase 1: Definición de objetivos y recolección de datos

Consiste en la identificación de objetivos específicos para la optimización, como la minimización de costos, maximización de la eficiencia, reducción tiempos de entrega, determinar flujo de red de distribución, cumplimiento de demanda por clientes, entre otros más que permitan el análisis detallado (Afzal & Dalheim, 2022; Olszak & Karbowski, 2018). Asimismo, realizar la toma de datos como fletes, demanda, costos fijos, capacidad de producción, distribución, para así poder realizar la modelación acorde a las necesidades establecidas.

Fase 2: Modelado cadena de abastecimiento en AMPL.

Recopilando los datos de la fase anterior, se realiza la creación del modelo matemático con los elementos considerados, formulando

conjuntos, subconjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones.

Fase 3: Resolución y análisis del Modelo AMPL

Se realizó la programación del modelo en AMPL y se utilizó el solver CPLEX para dar solución, así obtener los respectivos flujos y el valor de la función objetivo. AMPL (A Mathematical Programming Language) es un lenguaje de modelado algebraico que permite describir un problema de optimización de manera declarativa, de forma muy similar a su representación matemática. En AMPL, la definición de un problema típicamente se compone del modelo (una representación general del problema) y los datos (los valores de los parámetros del modelo que personalizan la especificación del problema) (Olszak & Karbowski, 2018; Valls Mestanza, 2020).

3. Resultados

Caso de estudio

La empresa objeto de estudio se encuentra ubicada en el sur occidente de Colombia, su actividad consiste en la distribución de leche estándar y premium, su red se conforma por 4 eslabones principales: centros de acopio, plantas de fabricación, centros de distribución y clientes. Los centros de acopio pueden recibir cualquier tipo de leche y las plantas pueden fabricar cualquier tipo de producto. En este proceso fue imperativo reordenar la red de distribución. En particular, fue clave evaluar qué Centros de Acopio y Centros de Distribución estarán operando.

Fase 1: Definición de objetivos y recolección de datos.

El proceso de abastecimiento de leche comienza en las granjas, donde se realizan actividades cruciales como el ordeño y el cuidado de los animales. Desde allí, la leche es transportada a instalaciones de enfriamiento y en seguida a plantas para su procesamiento, donde se somete a una serie de procedimientos que incluyen pasteurización,

homogenización y estandarización, según el producto final deseado. Una vez procesada, la leche y los productos lácteos son distribuidos a través de redes de transporte, finalmente llega a los consumidores a través de supermercados, tiendas de conveniencia y otros puntos de venta (Campoverde et al., 2019; Salcedo Gil, 2018).

En este caso se buscó determinar el diseño óptimo de la red de distribución con el objetivo de minimizar el costo total logístico. La información relevante para este caso se presenta en las siguientes tablas:

Tabla 1. Demanda por tipo de producto y cliente

Demanda	Cliente 1 (LP)	Cliente 2 (LP)	Cliente 3 (LE)	Cliente 4 (LE)
Leche Premium (LP)	15.000	100.000	0	0
Leche Estándar (LE)	0	0	50.000	50.000

Tabla 2. Costos fijos y Capacidad de Centros de Acopio.

Centros de acopio	Costos fijos (\$)	Capacidad (litros/año)
Centro de Acopio 1	\$ 80.000.000	200.000
Centro de Acopio 2	\$ 75.000.000	150.000
Centro de Acopio 3	\$ 78.000.000	100.000
Centro de Acopio 4	\$ 75.000.000	100.000

Tabla 3. Capacidad de las plantas

Capacidad	PL1	PL2
Capacidad (Litros/año)	200.000	150.000

Tabla 4. Costos fijos y capacidad por cada centro de distribución.

	Cedi 1	Cedi 2	Cedi 3	Cedi 4
Costos fijos (\$)	\$ 17.500.000	\$ 25.000.000	\$ 18.000.000	\$ 17.000.000
Capacidad (Litros/año)	120.000	100.000	120.000	150.000

Tabla 5. Flete de centros de acopio a plantas de fabricación (\$/Litros)

Flete 1	Planta de Fabricación 1	Planta de Fabricación 2
Centro de Acopio 1	\$ 101	\$ 101
Centro de Acopio 2	\$ 98	\$ 93
Centro de Acopio 3	\$ 96	\$ 93
Centro de Acopio 4	\$ 94	\$ 97

Tabla 6. Flete de plantas a Centros de distribución (\$/Litros)

Flete 2	Cedi 1	Cedi 2	Cedi 3	Cedi 4
Planta de Fabricación 1	\$ 50	\$ 70	\$ 90	\$ 80
Planta de Fabricación 2	\$ 98	\$ 76	\$ 57	\$ 64

Tabla 7. Flete de centros de distribución a clientes Multiple Sourcing.

Flete 3	Cliente 3 (le)	Cliente 4 (le)
Centro de Acopio 1	\$ 200	\$ 230
Centro de Acopio 2	\$ 215	\$ 250
Centro de Acopio 3	\$ 200	\$ 210
Centro de Acopio 4	\$ 210	\$ 290

Tabla 8. Flete de centros de distribución a clientes Single Sourcing.

Flete 3	Cliente 1 (LP)	Cliente 2 (LP)
Centro de Acopio 1	\$ 250	\$ 290
Centro de Acopio 2	\$ 280	\$ 295
Centro de Acopio 3	\$ 220	\$ 256
Centro de Acopio 4	\$ 240	\$ 245

Fase 2: Modelado cadena de abastecimiento en AMPL.

Para abordar el modelo de manera efectiva, es esencial comprender los términos y las consideraciones relacionadas con la red de la cadena de suministro. Estos elementos son fundamentales para la elaboración del modelo, el cual se estructura de la siguiente manera:

Nomenclatura del Modelo

Conjuntos

CA: Centros de Acopio por tipo de Leche disponibles, indexado por I,

PL: Plantas de Fabricación por tipo de Leche, indexado por J.

CD: Centros de Distribución (CEDI), indexado por O.

ZC: Clientes considerados, indexado por K.

LEST Y LPREM: Productos ofertados, indexado por P.

Subconjuntos

ZC1 y ZC2: Clientes single Sourcing, indexado por SS.

ZC3 y ZC4: Clientes Multiple Sourcing, indexado por MS.

LEST: Leche Estándar ofrecida, indexado por LE.

LPREM: Leche Premium ofrecida, indexado por LP.

Parámetros

CAP_ACOPIO_i : Capacidad instalada en Litros en acopios tipo i .

$CAP_PLANTAS_j$: Capacidad instalada en Litros de las plantas tipo j .

CAP_CEDIS_o : Capacidad en Litros del CEDI tipo o .

$DEMP_{pk}$: Demanda en Litros del producto tipo LP para el cliente tipo k .

$DEME_{pk}$: Demanda en Litros del producto tipo LE en cliente tipo k .

CA_i : Costo fijo de apertura del acopio tipo i .

$CALM_o$: Costo fijo de apertura del CEDI tipo o .

$FLETE1_{ij}$: Flete de envío desde acopios tipo i a plantas de Fabricación tipo j .

$FLETE2_{jo}$: Flete de envío desde plantas de fabricación tipo j a CEDIS tipo o .

$FLETE3_{op}$: Flete de envío desde CEDIS tipo o a clientes tipo MS .

Variables

X_{ij} : Cantidad de litros a enviar desde acopios tipo i a plantas tipo j del producto tipo p .

Y_{jo} : Cantidad de litros a enviar desde plantas tipo j a CEDIS tipo o del producto tipo p .

Q_{okp} : Cantidad de litros a enviar desde Cedis tipo o a clientes tipo MS del producto tipo LE .

Z_{ok} : Binaria que indica 1 decisión de atender cliente SS desde un solo CEDI tipo j ;

0 de lo contrario

W_o : Binaria que indica 1 decisión de abrir CEDI tipo o ; 0 de lo contrario.

A_i : Binaria que indica 1 abrir acopio tipo i ; 0 de lo contrario.

De acuerdo con la nomenclatura definida, se tienen los datos necesarios para establecer el modelo matemático, a continuación, se establece la estructura del modelo.

Función Objetivo

La ecuación representa el objetivo del problema central, siendo minimizar los costos de la operación.

Restricciones

En donde:

$$\sum_{jp} Xijp \leq CAP_ACOPIOi * Ai \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i,p} Xijp \leq CAP_PLANTASj \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_i Xijp = \sum_o Yjop \quad \forall j, p \quad (4)$$

$$\sum_{jp} Yjop \leq CAP_CEDISO * Wo \quad \forall o \quad (5)$$

$$\sum_j Yjop = \sum_{k''} Qokp \quad \forall o, p \quad (6)$$

$$\sum_j Yjop = \sum_{k'} Zok * DEMPPk \quad \forall o, p \quad (7)$$

$$\sum_o Qokp \geq DEMEPk \quad \forall k(MS), p(LE) \quad (8)$$

$$\sum_o Zok = 1 \quad \forall k(SS) \quad (9)$$

Fase 3: Resolución y análisis del Modelo AMPL

Para definir la solución del modelo se estableció que el nodo de transporte ya fue seleccionado y establecido, por lo tanto, no se justificó el incluir esta decisión en el modelo matemático. El modelo permitió encontrar la configuración con el costo mínimo total de la red, determinando el flujo y las decisiones estratégicas que determinaron que centros de acopio debían permanecer abiertos

y cuáles se debían cerrar. Además, se analizaron los porcentajes de cumplimiento de la demanda entre los clientes SS (Single Sourcing) y MS (Multiple Sourcing) así como porcentajes de utilización de las fábricas.

Teniendo el modelo matemático planteado, definidos los parámetros y variables, se ingresa la información al lenguaje de programación de AMPL, La función objetivo busca minimizar los costos de la operación, se consideran variables enteras y binarias, lo cual lo hace un modelo de programación lineal entero mixto.

El modelo determina en qué centro de Acopio operar, que CEDI abrir y a que clientes establecer una prioridad de cumplimiento en cuanto a la demanda, como se observa en las siguientes tablas se recopila los resultados obtenidos para el cumplimiento del objetivo del modelo.

Tabla 9. Solución Costo Total en COP y Cantidades enviadas

Función Objetivo		\$ 266.555.000	X	Y	Q
Centro de Acopio 2	Planta de Fabricación 2	Leche Premium	115.000	.	.
Centro de Acopio 4	Planta de Fabricación 1	Leche Estándar	100.000	.	.
Planta de Fabricación 1	Cedi 1	Leche Estándar	.	100.000	.
Planta de Fabricación 2	Cedi 4	Premium	.	115.000	.
Cedi 1	Cliente 3 (LE)	Leche Estándar	.	.	50.000
Cedi 1	Cliente 4 (LE)	Leche Estándar	.	.	50.000

Tabla 10. Cumplimiento Demanda Cliente SS

Z		Demanda	
CEDI 4	Cliente 1 (LP)	1	15.000
CEDI 4	Cliente 2 (LP)	1	100.000

Tabla 11. Apertura o cierre de centros de acopio y Cedis

Centros de acopio y cedis	A	W
Centro de Acopio 2	1	.
Centro de Acopio 4	1	.
CEDI 1	.	1
CEDI 4	.	1

Tabla 12. Uso y Capacidad propuesta Plantas de Fabricación.

Plantas de fabricación	Uso	Capacidad	% Uso
Planta de Fabricación 1	100.000	200.000	50,0%
Planta de Fabricación 2	115.000	150.000	76,7%

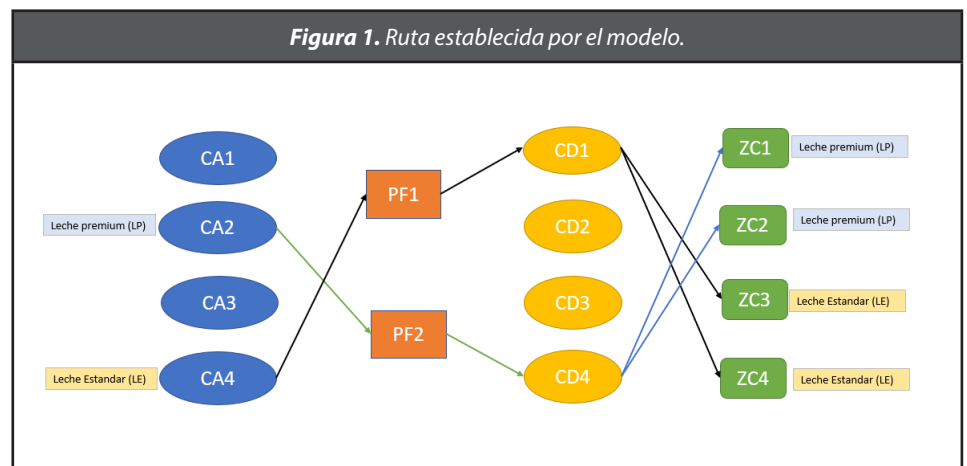
Tabla 13. Uso y Capacidad propuesta para Centros de distribución.

	Uso	Capacidad	% Uso
Cedi 1	100.000	120.000	83%
Cedi 4	115.000	150.000	77%

Tabla 14. Cumplimiento Demanda Solución Propuesta.

	Enviado	Demanda	% Uso
Cliente 1 (LP)	15.000	15.000	100%
Cliente 2 (LP)	100.000	100.000	100%
Cliente 3 (LE)	50.000	50.000	100%
Cliente 4 (LE)	50.000	50.000	100%

Es evidente que el realizar el modelo matemático establecido, establece que la mejor opción es activar los centros de acopio 2 y 4 para recibir los litros de leche premium y estándar; asimismo, para la distribución de clientes Single y Multiple Sourcing se deben activar los Cedis 1 y 4 para leche estándar y leche premium respectivamente. Con esto se logró suplir la demanda total al menor costo. Lo anterior, da como resultado atender a los clientes mediante los centros de acopio, plantas de fabricación y centros de distribución como se observa en la figura 1.



4. Conclusiones

El modelo matemático permitió determinar el flujo de productos entre los centros de acopio, plantas, centros de distribución y clientes, así como la identificación de los centros de acopio que debían permanecer abiertos y cuáles cerrarse. También, se logró analizar el cumplimiento de la demanda de los clientes que reciben entregas únicas y entregas fraccionadas. Esto demostró que los resultados del modelo definen una solución clara y acorde a las necesidades de la empresa caso de estudio.

Esta investigación proporciona un modelo integral y un enfoque detallado para la implementación de sistemas que permitan

optimizar los recursos en múltiples áreas, incluyendo la producción, el transporte y la toma de decisiones relacionadas con la atención a los clientes finales. Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia operativa, sino también maximizar la satisfacción del cliente y garantizar una gestión más efectiva de los recursos disponibles.

La capacidad de anticipar y resolver desafíos en la distribución contribuye significativamente a la optimización de recursos, la reducción de costos y, en última instancia, al fortalecimiento de la competitividad organizacional. En este sentido, la planificación estratégica de la distribución se erige como un elemento crucial para el rendimiento global de una empresa en el ámbito logístico y comercial.

Referencias

- Afzal, B., & Dalheim, E. B. (2022). *Optimal offshore installation of floating wind turbines, using Mixed-Integer Linear Programming with AMPL*.
- Agudelo, C., Allen, C., Fierro, O. J., Gonzalez, J. E., Martine, B. L., & Cerquera, P. (2018). *GESTIÓN DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN TERRESTRE EN COLOMBIA*.
- Burg, D., & Ausubel, J. H. (2021). Moore's Law revisited through Intel chip density. *PLoS ONE*, 16(8 August), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256245>
- Campoverde, J., Beltrán, E., Naula, F., Romero, A., & Coronel, K. (2019). Aplicación de Modelos Matemáticos para Optimizar el ciclo de Abastecimiento en la Recolección de Leche Cruda en la provincia de Azuay. *INCITEC*, 1(1), 6–13.
- Goyzueta Meneses, C. E. (2021). *PROPUESTA DE MEJORA DE LA CADENA DE SUMINISTROS DE LA PALTA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO, ANALYTICS Y OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA*.
- Guzmán, E., Poler, R., & Andrés, B. (2020). Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro. *Dirección y Organización*, 70, 28–52. <https://doi.org/10.37610/DYO.V0I70.567>
- Hernández-Pajares, J. (2020). Sostenibilidad corporativa y COVID-19: evidencia en páginas web y redes sociales de empresas peruanas (Corporate Sustainability and COVID-19: Evidence on Peruvian Companies' Websites and Social Networks). *SSRN Electronic Journal*, (November), 0–18. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3736302>

- López Cardona, C. E., & Diaz Camacho, D. F. (2017). Propuesta de un modelo de ruteo de vehículos considerando ventana de tiempo y flota homogénea para una distribuidora de frutas del norte del valle. Universidad del Valle.
- Mitchell, R. (2021). Transportation can be tricky for dairy processors. Retrieved from <https://www.dairyfoods.com/articles/95019-transportation-can-be-tricky-for-dairy-processors>
- Olszak, A., & Karbowski, A. (2018). Parampl: A simple tool for parallel and distributed execution of AMPL programs. *IEEE Access*, 6, 49282–49291. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2868222>
- Ribas Vila, I., & Companys Pascual, R. (2007). *Estado del arte de la planificación colaborativa en la cadena de suministro - Contexto determinista e incierto*.
- Ruiz-Meza, J., Montes, I., Pérez, A., & Ramos-Márquez, M. (2020). VRP model with time window, multiproduct and multidepot. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(2), 239–247. [https://doi.org/10.6180/jase.202006_23\(2\).0008](https://doi.org/10.6180/jase.202006_23(2).0008)
- Salcedo Gil, J. S. (2018). *PROPUESTA DE RUTEO PARA UNA FLOTA HETEROGÉNEA DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN DE LECHE DE UNA EMPRESA DEL EJE CAFETERO*.
- Valls Mestanza, F. (2020). *Modelado y optimización de los horarios de un centro universitario con Programación Matemática*.
- Vidal, T., Laporte, G., & Matl, P. (2020). A concise guide to existing and emerging vehicle routing problem variants. *European Journal of Operational Research*, 286(2), 401–416. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.010>