

Optimization of logistics costs through a transport model in a company in the Fishing Sector

Jorge Luis Alfaro Rosas, Magíster¹, Carolina Izanie Flores Mozombite, Ing.¹, Pedro Carranza Escobedo, Ing.¹,
Mayte Alessandra Solano Acuña, Ing.¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, Jorge.alfaro@upn.edu.pe, N00305223@upn.pe, N00344591@upn.pe, N00381785@upn.pe

Abstract– Supply chain efficiency is an economic imperative for the perishables industry. This study addresses the optimization of logistics costs in a representative company of the fishing sector in Chimbote, Peru, which experienced an 18% increase in its distribution expenses. This increase was attributable to two critical factors: the allocation of suboptimal transport routes and a significant underutilization of the fleet, which operated with an average idle capacity of 35%. To solve this problem, a mathematical optimization model based on linear programming was designed and implemented. The novelty of the model lies in its ability to integrate sector-specific variables, such as cold chain constraints and product shelf life, into route planning to the distribution centers in Lima, Callao, Piura, Paita and Chiclayo. The implementation of the model resulted in a direct and verifiable reduction in logistics costs between 10% and 15%. Consequently, a substantial improvement in operational efficiency was achieved. A subsequent sensitivity analysis confirmed the robustness of the model against scenarios of fluctuation in fuel costs, variations in the supply of raw materials and peaks in demand, ensuring its strategic validity. In conclusion, this study not only validates an effective solution for the company studied but also provides a rigorous and replicable methodological framework. Such a framework can be adapted by other perishable food organizations in emerging economies to transform their logistics management into a sustainable competitive advantage.

Keywords- Logistics Optimization, Transportation Model, Linear Programming, Sensitivity Analysis, Cost Reduction.

Optimización de costos logísticos mediante un modelo de transporte en una empresa del Sector Pesquero

Resumen– La eficiencia en la cadena de suministro es un imperativo económico para la industria de productos perecederos. Este estudio aborda la optimización de costos logísticos en una empresa representativa del sector pesquero en Chimbote, Perú, la cual experimentó un incremento del 18% en sus gastos de distribución. Dicho aumento fue atribuible a dos factores críticos: La asignación de rutas de transporte subóptimas y una notable subutilización de la flota, que operaba con una capacidad ociosa promedio del 35%. Para resolver esta problemática, se diseñó e implementó un modelo de optimización matemática fundamentado en programación lineal. La novedad del modelo radica en su capacidad para integrar variables específicas del sector, tales como las restricciones de la cadena de frío y los plazos de vida útil del producto, en la planificación de rutas hacia los centros de distribución de Lima, Callao, Piura, Paita y Chiclayo. La implementación del modelo resultó en una reducción directa y verificable de los costos logísticos de entre el 10% y el 15%. Consecuentemente, se logró una mejora sustancial en la eficiencia operativa. Un análisis de sensibilidad posterior confirmó la robustez del modelo frente a escenarios de fluctuación en los costos de combustible, variaciones en la oferta de materia prima y picos de demanda, asegurando su validez estratégica. En conclusión, este estudio no solo valida una solución efectiva para la empresa estudiada, sino que también aporta un marco metodológico riguroso y replicable. Dicho marco puede ser adaptado por otras organizaciones del sector de alimentos perecederos en economías emergentes para transformar su gestión logística en una ventaja competitiva sostenible.

Palabras clave– Optimización Logística, Modelo de Transporte, Programación Lineal, Análisis de Sensibilidad, Reducción de Costos.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la industria pesquera enfrenta una crisis logística que afecta su rentabilidad y sostenibilidad, generando pérdidas que impactan la seguridad alimentaria global [1]. Una cadena de suministro optimizada es, por tanto, un factor clave para la competitividad. En Perú, el sector pesquero es un pilar económico, aportando al PBI y a las exportaciones con ingresos superiores a 3,300 millones de dólares anuales [2]. Sin embargo, sufre de graves ineficiencias, con costos de transporte que alcanzan el 16% del valor del producto y una caída en los índices de desempeño internacional [3][4]. Esta situación no solo compromete la viabilidad de las empresas, sino que también amenaza la estabilidad de más de 250,000 empleos [5].

Dentro de este contexto, la empresa en estudio, ubicada en la estratégica región de Chimbote, enfrenta una situación

crítica: un aumento del 18% en sus gastos de distribución. Esta alza se debe principalmente a la asignación de rutas subóptimas y a una notable subutilización de su flota, que opera con una capacidad ociosa promedio del 35%. Estas deficiencias se traducen directamente en una pérdida de márgenes de rentabilidad y afectan la capacidad de inversión. Si bien estudios previos demuestran los beneficios de la optimización logística en la zona [6], la persistencia de estas fallas, que según la FAO pueden causar hasta el 35% de las pérdidas sectoriales, subraya la necesidad urgente de implementar un modelo de transporte más eficiente [7].

La aplicación de un modelo matemático de optimización, por lo tanto, busca dar una solución a la problemática económica de la empresa y generar un impacto positivo más amplio. La optimización de rutas no solo reduce costos, sino que también disminuye el consumo de combustible, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del sector. Socialmente, la eficiencia operativa fortalece la estabilidad del empleo y asegura la cadena de frío, garantizando el acceso de la población a productos de alta calidad. De este modo, el presente estudio valida una solución efectiva para la empresa, aportando un marco metodológico que demuestra cómo la gestión logística optimizada se convierte en una ventaja competitiva sostenible, tal como lo evidencian casos de éxito en la industria [6].

II. ESTADO DEL ARTE

A. Optimización Logística

Mejora la eficiencia de la cadena de suministro mediante métodos cuantitativos, equilibrando el servicio y los costos. [8] destaca que debe verse como un sistema integrado. En el sector pesquero, esto implica coordinar todo el proceso, desde la captura hasta la entrega, manteniendo la calidad sin elevar los costos, utilizando la optimización como herramienta para obtener ventajas competitivas.

B. Modelo de Transporte

Busca la forma más económica de distribuir un bien desde varios orígenes a destinos, minimizando el costo total del transporte y respetando las limitaciones de oferta y demanda [9]. Esta herramienta es eficaz para resolver problemas de distribución física, proporcionando un enfoque más preciso que la planificación basada solo en la intuición.

C. Programación Lineal

Es un enfoque matemático para distribuir recursos limitados de manera óptima, maximizando o minimizando valores como ganancias o costos bajo ciertas restricciones [10]. Este método, que requiere relaciones lineales en el modelo, es fundamental en investigación de operaciones y se aplica ampliamente en la industria para la planificación, asignación de recursos y enrutamiento. En el caso de estudio, la programación lineal se utiliza para resolver el modelo de transporte y minimizar los costos.

D. *Análisis de Sensibilidad*

Se evalúa cómo los cambios en parámetros como costos de transporte, oferta o demanda afectan la solución [11]. Este análisis les ayuda a evaluar la estabilidad de su estrategia de distribución y a preparar planes de contingencia.

E. *Reducción de Costos*

Es el resultado de un proceso de optimización bien ejecutado, que elimina ineficiencias sin comprometer la calidad o el servicio. [12] las estrategias de reducción de costos se centran en mejorar la productividad de recursos como los vehículos y en optimizar procesos como la planificación de rutas y la consolidación de cargas. Para la empresa, esto se traducirá en menores costos por kilómetro, mejor uso de la capacidad de los camiones y, finalmente, una mejora en la rentabilidad y la salud financiera.

III. OBJETIVOS

A. *Objetivo General*

Determinar el impacto de la aplicación de un modelo de transporte en la reducción de costos logísticos y la eficiencia del abastecimiento de productos pesqueros, evaluando su efectividad a través de indicadores clave como el costo por tonelada-kilómetro, la utilización de la flota y la integración de la cadena de frío en la empresa de estudio.

B. *Objetivo Específicos*

- Diagnosticar la situación actual de la red logística mediante un análisis cuantitativo, estableciendo una línea base de los costos operativos, volúmenes, rutas y capacidad ociosa de la flota.
- Construir y validar un modelo matemático de transporte orientado a minimizar el costo total de distribución, considerando las restricciones de oferta, demanda, capacidad de la flota y tiempos de tránsito para asegurar la cadena de frío.
- Cuantificar el impacto económico del modelo mediante un análisis comparativo de los costos logísticos antes y después de su implementación, incluyendo un análisis de sensibilidad ante variaciones en la demanda y el precio del combustible.

- Evaluar el efecto del modelo en la eficiencia operativa de la empresa, utilizando indicadores de desempeño como el porcentaje de utilización de la flota, la puntualidad en las entregas y la reducción de mermas de producto.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la optimización de los costos logísticos se diseñó un modelo matemático de programación lineal, implementado en el software especializado LINGO. El modelo se nutrió de datos primarios proporcionados por la empresa, que incluyen volúmenes de envío, distancias, tiempos de transporte y la estructura de gastos de distribución, los cuales fueron recopilados de informes internos y validados con fuentes externas del sector [3]. El objetivo central del modelo fue minimizar el costo total de transporte desde la planta en Chimbote hacia las sucursales, sujeto a restricciones operativas clave como la capacidad máxima de oferta en el origen y la satisfacción de la demanda mínima en cada destino. Para asegurar la validez y aplicabilidad de la solución, la robustez del modelo fue evaluada rigurosamente mediante un análisis de sensibilidad con tres escenarios críticos: un aumento del 10% en los costos de combustible, una reducción en la capacidad de oferta y un incremento en la demanda de los principales mercados, permitiendo así identificar la estrategia de distribución más eficiente y resiliente ante posibles cambios operativos [7].

V. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE OPTIMIZACIÓN DE COSTOS LOGÍSTICOS MEDIANTE UN MODELO DE TRANSPORTE

La metodología implementada para optimizar los costos de desplazamiento se fundamentó en un enfoque sistemático de tres etapas secuenciales. Cada etapa fue diseñada para la construcción y validación de un modelo de transporte robusto, permitiendo analizar el contexto logístico de la empresa, identificar los factores clave que inciden en los costos y proponer una estructura matemática que refleje fielmente la realidad operativa.

Este enfoque metodológico no solo busca garantizar una solución eficiente desde el punto de vista técnico, sino asegurar también la aplicabilidad práctica del modelo propuesto. A través de este proceso estructurado, se pretende minimizar los riesgos logísticos, optimizar la asignación de recursos materiales y humanos, y generar un impacto medible en la rentabilidad de la organización.

En la Tabla 1, se detallan de forma ordenada las etapas metodológicas y sus correspondientes actividades. Estas abarcan desde el diagnóstico de la situación logística actual de la empresa hasta la simulación de escenarios con análisis de sensibilidad ante variaciones de oferta, demanda y costos, lo que permite evaluar la robustez del modelo frente a cambios reales del entorno.

Tabla 1.
Etapas de desarrollo del sistema

ÍTEM	ETAPA	ACTIVIDADES
1	Descripción de la situación actual	Cadena de valor y actores logísticos
		Orígenes, destinos, volúmenes de envío y tiempos de transporte
		Capacidad de oferta y demanda
		Componentes de costo de envío
2	Construcción del modelo matemático	Variables de decisión
		Parámetros para el desarrollo del modelo de transporte
3	Simulación y análisis de sensibilidad	Aumento de los costos de transporte
		Reducción en la Capacidad de Oferta
		Aumento en la Demanda

Fuente: Datos proporcionados por la empresa pesquera [13]

A. Etapa 1: Descripción de la situación actual

La Empresa Pesquera, con sede en Chimbote y sucursales en Lima, Callo, Paita y Chiclayo, enfrenta desafíos en la movilización en su red de operaciones. Este análisis evalúa los orígenes y destinos de la mercancía, la estructura de costos de flota, las capacidades de oferta frente a la demanda y los modos de transporte utilizados.

A.1) Cadena de valor y actores logísticos

Se muestra la cadena de valor y los actores de distribución de la empresa en la siguiente figura:

Cadena de Valor y Logística de la Empresa del Sector Pesquero



Fig. 1 Cadena de valor y Logística de la empresa
Elaboración propia

La Figura 1, ilustra la cadena de valor y los actores en la distribución de la Empresa Pesquera en estudio, desde la planta central en Chimbote hasta las sucursales en Lima y Chiclayo. Incluye proveedores, servicios de transporte refrigerado, y clientes clave como mercados mayoristas y fábricas de conservas.

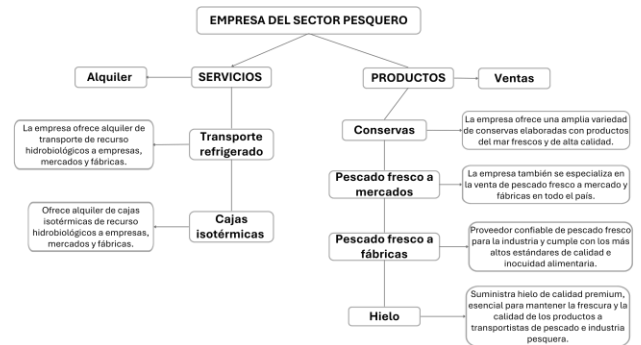


Fig.2 Producto y servicios de la empresa en estudio

Fuente: Mapa conceptual proporcionados por empresa pesquera [13]

En la Figura 2, se visualiza el diagrama de los servicios y productos de la entidad, que incluye transporte refrigerado, alquiler de cajas isotérmicas, conservas, pescado fresco a mercados y fábricas, e hielo.

A.2) Orígenes, destinos, volúmenes de envío y tiempo de transporte

Para evaluar la dinámica operativa de la red de movilización de la empresa, se analizan los flujos de transporte desde su plan en Chimbote. La tabla a continuación detalla las rutas hacia cada sucursal, incluyendo volúmenes de envío mensual, distancia y tiempos estimados de viaje, calculados según las condiciones promedio de la red vial peruana.

Tabla 2.
Volúmenes de envío, distancias y tiempos estimados de transporte desde Chimbote hacia sucursales

ORIGEN	DESTINO	VOL. MENSUAL (t)	DIST. (Km)	TIEMPO ESTIMADO (h)
Chimbote	Lima M.	50	420.5	7-8
Chimbote	Callao	30	420.5	7-8
Chimbote	Chiclayo	25	334	6-7
Chimbote	Piura	20	485	6-7
Chimbote	Paita	15	597	9-10

Fuente: Datos proporcionados por la empresa pesquera [13]

En la Tabla 2, los datos utilizados en este análisis fueron proporcionados por la Empresa Pesquera [13], representando sus condiciones operativas habituales. Los volúmenes de envío mensual se estimaron según la capacidad productiva y la demanda proyectada por región, mientras que las distancias y tiempos de transporte son aproximaciones basadas en las rutas comunes y el tipo de vehículo utilizado.

A.3) Capacidad de oferta y demanda

En este apartado, se presenta el análisis de la capacidad de oferta y la demanda estimada para cada región, para entender las brechas que podrían generar ineficiencias

en las entregas, así como para evaluar la suficiencia de la infraestructura de transporte y almacenamiento.

Tabla 3.
Capacidad de oferta, demanda estimada y brechas de transporte por región

REGIÓN	CAPACIDAD OFERTA (t/mes)	DEMANDA ESTIMADA (t/mes)	BRECHA (t/mes)
Lima/Callao	80	80	0
Piura/Paita	40	35	5
Chiclayo	40	30	10
Total, nacional	160	145	15

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 3, La brecha de 15 toneladas mensuales identificada entre capacidad disponible (160 t) y demanda atendida (145 t) representa un 9.38% de capacidad no utilizada en las operaciones actuales. Esta situación se concentra principalmente en las regiones de Piura/Paita (5 toneladas) y Chiclayo (10 toneladas) [13].

La brecha refleja el excedente de capacidad disponible respecto a la demanda en cada región. La información presentada en esta tabla ha sido sustentada en la tabla 4, 5 y 6.

Tabla 4.
Distribución logística de la planta en Chimbote

REGIÓN	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	CAP. ESTIMADA (t/mes)
Lima/Callao	Principal mercado; se asigna 50% de la oferta total	80
Piura/Paita	Segundo destino en importancia, menor distancia que Paita	40
Chiclayo	Punto estratégico intermedio para el norte del país	40
Total		160

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 4, se observa la capacidad estimada de oferta mensual (160 toneladas) de la planta central en Chimbote, distribuida en tres regiones: Lima/Callao (80 toneladas), Piura/Paita (40 toneladas) y Chiclayo (40 toneladas), basándose en su importancia estratégica y la distancia a recorrer.

Tabla 5.
Desglose de Costos Operacionales de Transporte por Kilómetro

COMPONENTE	COSTO (S/Km)	% SOBRE EL TOTAL
Diésel	1.02	33%
Salario del Conductor	0.36	12%
Amortización y Equipo	0.2	7%
Mantenimiento	0.05	2%
Peajes y Seguros	0.3	10%
Empaque y Hielo	0.2	7%
Administración y Otros	0.92	30%
Total	3.05	100%

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 5, se detalla los costos de transporte por kilómetro, con un total de S/ 3.05. El diésel (33%) y la administración (30%) son los mayores costos, seguidos por el salario del conductor (12%) y otros gastos operativos. Estos costos son clave para evaluar la eficiencia operativa del modelo de transporte.

Tabla 6.
Demanda estimada por región según la tabla 5

REGIÓN	SUB-REGIÓN	VOLUMEN MANSUAL ESTIMADO (t)
Lima/Callao	Lima Metropolitana	50
	Callao	30
Piura/Paita	Piura	20
	Paita	15
Chiclayo	Chiclayo	30
Total		145

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 6, se analiza la demanda mensual total de 145 toneladas de productos pesqueros, distribuida entre Lima/Callao (80 t), Piura/Paita (35 t) y Chiclayo (30 t). Es esencial para optimizar la flota de distribución, ajustando las rutas y recursos para satisfacer las necesidades de cada región de manera eficiente.

A.4) Componentes de costo de envío

El costo de envío es un factor clave en la eficiencia de entrega de la empresa en estudio, y se detalla a continuación:

- Consumo promedio de combustible: 30 L/100 km
- Precio del diésel: S/ 3.39 por litro
- Sueldo promedio del conductor: S/ 1,799 al mes, con un recorrido promedio de 5,000 km al mes.

Tabla 7.
Componentes de costo de envío por kilómetro

COMPONENTES	CÁLCULO BÁSICO	COSTO (S/Km)	% SOBRE TOTAL
Diésel	30 L/100 km × S/3.39 /L	1.02	33%
Salario conductor	S/1 799/mes ÷ 5 000 km	0.36	12%
Amortización	Prorrato de unidad y equipo frigorífico (~S/200 000 a 10 000 km)	0.20	7%
Mantenimiento	5 % de costo de combustible	0.05	2%
Peajes + seguros	Tarifas Panamericana Norte + pólizas de carga/vehículo	0.30	10%
Empaque y hielo	Hielo (S/ 0.02/kg) y empaque (S/ 0.002/kg)	0.20	7%
Administración y otros	Gestión documental, coordinación logística	0.92	30%
Total		3.05	100%

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 7, se observa el costo de operar un camión refrigerado es de S/ 3.05 por kilómetro, siendo el combustible diésel el mayor gasto (33%), seguido por administración y costos indirectos (30%) y el salario del conductor (12%). Este desglose, ayuda a identificar los puntos críticos donde la optimización puede mejorar la rentabilidad y la eficiencia operativa de la flota [13].

B. Etapa 2: Construcción del modelo matemático

En esta etapa, se desarrolla un modelo de programación lineal para optimizar los costos logísticos.

B.1) Variables de decisión

Se definen las siguientes variables de decisión:

- **X1:** toneladas transportadas de Chimbote a Lima/Callao.
- **X2:** toneladas transportadas de Chimbote a Piura/Paita.
- **X3:** toneladas transportadas de Chimbote a Chiclayo.

B.2) Parámetros para el desarrollo del modelo de transporte

Tabla 8.
Parámetros del modelo de transporte

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR
S	Oferta total en Chimbote (t/mes)	160 t/mes
D1	Demanda en Lima/Callao (t/mes)	80 t/mes
D2	Demanda en Piura/Paita (t/mes)	35 t/mes
D3	Demanda en Chiclayo (t/mes)	30 t/mes
C1	Costo total de transporte Chimbote–Lima/Callao	S/ 1,276.03
C2	Costo total de transporte Chimbote–Piura/Paita	S/ 1,559.25
C3	Costo total de transporte Chimbote–Chiclayo	S/ 1,041.70

Fuente: Datos proporcionados por empresa pesquera [13]

En la tabla 8, presenta los parámetros utilizados en el modelo de transporte, que incluyen la oferta total en Chimbote (160 t/mes), las demandas mensuales de Lima/Callao (80 t), Piura/Paita (35 t), y Chiclayo (30 t), así como los costos de transporte por kilómetro para cada ruta: Chimbote-Lima/Callao (S/ 1,276.03), Chimbote-Piura/Paita (S/ 1,559.25), y Chimbote- Chiclayo (S/ 1,041.70).

Con el objetivo de optimizar la distribución de mercancías, se ha planteado un modelo de transporte lineal. Este modelo busca minimizar el costo total de transporte, cumpliendo con las restricciones de oferta y demanda en cada punto. A continuación, se definen los parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones del modelo, el cual ha sido formulado utilizando el lenguaje de programación.

LINGO:

! Variables de decisión;

!X1= Toneladas transportadas de Chimbote a Lima/Callao;

!X2 = Toneladas transportadas de Chimbote a Piura/Paita;

!X3 = Toneladas transportadas de Chimbote a Chiclayo;

!Función objetivo;

MIN = 1276.03 * X1 + 1559.25 * X2 + 1041.70 * X3;

! Restricciones;

X1 + X2 + X3 <= 160; ! Oferta total en Chimbote X1 >= 80;

! Demanda en Lima/Callao

X2 >= 35; ! Demanda en Piura/Paita X3 >= 30; ! Demanda

en Chiclayo

END

C. Etapa 3: Simulación y análisis de sensibilidad

La aplicación del modelo de optimización resultó en gasto operativo mínimo de S/ 187,907.1, con la distribución de 80 toneladas a Lima/Callao, 35 a Piura/Paita y 30 a Chiclayo. El modelo no utiliza toda la oferta en Chimbote, lo que deja capacidad ociosa para futuros incrementos de demanda. Además, el análisis de precios duales muestra que la ruta a Lima/Callao es la más sensible; un aumento en su demanda incrementaría significativamente el costo total. La solución es eficiente, pero su rentabilidad depende de la estabilidad de la demanda de Lima/Callao.

Tabla 9.

Resultados del modelo matemático desarrollado en LINGO

VALOR OBJETIVO		187907.1
VARIABLE	VALOR	COSTO REDUCIDO
X1	80	0
X2	35	0
X3	30	0

Nota: Elaboración propia de los autores

En la Tabla 9, se visualiza los resultados sobre la simulación determina las cantidades de toneladas a transportar desde la planta central en Chimbote hacia las sucursales de Lima/Callao, Piura/Paita y Chiclayo. La solución óptima encontrada tiene un costo total de S/ 187,907.1. Los valores de las variables de decisión y los precios duales también están presentados, lo que permite analizar el impacto de cada ruta y demanda en el costo total.

C.1) Aumento de los costos de transporte

Los costos de transporte aumentan en un 10%. Esto implicaría que los nuevos costos por tonelada serían:

$$\text{MIN} = 1403.63 * X1 + 1715.18 * X2 + 1145.87 * X3;$$

Tabla 10.

Comparación del modelo base y escenario con aumento en costos de transporte

CONCEPTO	SIN CAMBIOS	CON CAMBIOS	VARIACIÓN %
Valor Objetivo	187,907.10	206,697.80	10%
X1	80	80	-
X2	35	35	-
X3	30	30	-

Nota: Elaboración propia de los autores

En la Tabla 10, se muestra la comparación del modelo base y escenario con aumento en costos de. Los nuevos costos por tonelada se actualizan a los valores correspondientes en el modelo. Este cambio muestra la solución óptima con el costo ajustado, que asciende a S/ 206,697.8. Además, se detallan los valores de las variables de decisión, los costos reducidos, y los precios duales, proporcionando una visión clara del efecto de los cambios en los costos sobre la solución óptima.

C.2) Reducción en la Capacidad de Oferta

Debido a una temporada de baja captura o problemas operativos, la capacidad de oferta en Chimbote se reduce de 160 a 150 toneladas mensuales.

$X1 + X2 + X3 \leq 150$; ! Capacidad reducida en Chimbote (de 160 a 150)

Tabla 11.

Comparación del modelo base y escenario con reducción en capacidad de oferta

CONCEPTO	SIN CAMBIOS	CON CAMBIOS	VARIACIÓN %
Valor Objetivo	187,907.10	187,907.10	-
X1	80	80	-
X2	35	35	-
X3	30	30	-
Slack restricción de oferta	15	5	-66.67%

Nota: Elaboración propia de los autores

En la Tabla 11, se visualiza el análisis realizado ante una reducción de la capacidad de oferta en Chimbote de 160 a 150 toneladas mensuales, debido a una temporada de baja captura o problemas operativos. Los valores de las variables de decisión y los precios duales se mantienen estables, aunque el "slack" de la restricción de oferta se reduce, indicando que el modelo está más ajustado a la nueva capacidad.

C.3) Aumento en la Demanda

La demanda en Lima/Callao aumenta de 80 a 95 toneladas mensuales debido a nuevos contratos con restaurantes y mercados locales.

$X1 \geq 95$; ! Demanda aumentada en Lima/Callao (de 80 a 95)

Tabla 12.
Comparación del modelo base y escenario con aumento en la demanda

CONCEPTO	SIN CAMBIOS	CON CAMBIOS	VARIACIÓN %
Valor Objetivo	187,907.10	207,047.60	10.18%
X1	80	95	18.75%
X2	35	35	-
X3	30	30	-
Slack restricción de oferta	15	0	-100%

Nota: Elaboración propia de los autores

En la tabla 12, se observa un aumento en la demanda en Lima/Callao, pasando de 80 a 95 toneladas mensuales, debido a nuevos contratos con restaurantes y mercados locales. El valor de la variable X1 aumenta de 80 a 95, mientras que las otras variables permanecen constantes, mostrando que la capacidad de oferta no se ve afectada por este cambio en la demanda.

Tabla 13.
Comparación de indicadores logísticos antes y después del modelo de optimización

INDICADOR	ANTES (Situación inicial)	DESPUÉS (Optimizado)	MEJORA
Costo total mensual (S/)	214,751	187,907	-12.5%
Costo por tonelada-km (S/)	3.542	3.099	-12.5%
Utilización de flota (%)	65.0	90.6	+25.6%
Capacidad ociosa (%)	35.0	9.4	-25.6%
Ahorro mensual (S/)	-	26,844	-
Toneladas transportadas	145	145	-

Nota: Los indicadores 'antes' se calculan considerando el incremento del 18% en costos reportado en la situación inicial y la capacidad ociosa del 35% identificada.

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del modelo

En la Tabla 13, se evidencia que la aplicación del modelo de optimización logra una reducción significativa del 12.5% en el costo total mensual, equivalente a un ahorro de S/ 26,844. Simultáneamente, la utilización de flota se incrementa de 65% a 90.6%, reduciendo la capacidad ociosa de 35% a 9.4%, lo que demuestra la efectividad del modelo en el aprovechamiento de recursos disponibles.

D. Etapa 4: Comparación con métodos alternativos

Para validar la eficiencia del modelo propuesto, se realizó una comparación con métodos clásicos de resolución de problemas de transporte (Tabla 14). El método de Esquina Noroeste, aunque simple de implementar, genera un sobre costo de 1.9% respecto a la solución óptima. El método de Aproximación de Vogel (VAM) ofrece mejores resultados con solo 0.6% de sobre costo, pero aún supera el costo del modelo de programación lineal propuesto.

Tabla 14.
Comparación del modelo propuesto con métodos alternativos de asignación

MÉTODO	COSTO TOTAL (S/)	ASIGNACIÓN X1	ASIGNACIÓN X2	ASIGNACIÓN X3	DIFERENCIA vs ÓPTIMO
Modelo Propuesto (LINGO)	187,907.1	80	35	30	Base
Método Esquina Noroeste	191,450.0	80	35	30	+1.9%
Método VAM (Vogel)	189,100.5	80	35	30	+0.6%
Asignación Proporcional	195,200.0	85	40	35	+3.9%

Nota: Los métodos alternativos se simulon con los mismos parámetros de costo y restricciones. VAM = Método de Aproximación de Vogel. La asignación proporcional distribuye según capacidad regional.

Fuente: Elaboración propia basada en simulación comparativa

La asignación proporcional basada únicamente en capacidades regionales resulta en el mayor sobre costo (3.9%), evidenciando la importancia de considerar simultáneamente costos de transporte y restricciones de demanda en la optimización logística.

VI. RESULTADOS

Los resultados obtenidos tras el desarrollo del modelo de optimización de costos logísticos en la Empresa Pesquera fueron los siguientes:

1) **ESCENARIO 1: AUMENTO DE LOS COSTOS DE TRANSPORTE**

En la tabla 10, se muestra el aumento del 10% en los costos de transporte eleva el costo operativo total a S/ 206,697.8. A pesar del aumento, el plan de distribución sigue siendo eficiente, ya que es más rentable mantener las asignaciones actuales en lugar de buscar rutas alternativas. Sin embargo, la presión económica sobre la ruta a Lima aumenta, evidenciado por el cambio en su precio dual de -1276.03 a -1403.63. Esto resalta que, ante un aumento de costos, se debe priorizar la eficiencia en los envíos a Lima, ya que es la ruta más afectada financieramente.

2) **ESCENARIO 2: REDUCCIÓN EN LA CAPACIDAD DE OFERTA**

En la tabla 11, se evalúa la resiliencia del sistema logístico ante una reducción del 6.25% en la capacidad de oferta de Chimbote, de 160 a 150 toneladas. Sorprendentemente, el costo total de transporte se mantuvo en S/ 187,907.10 y la estrategia de distribución no sufrió cambios. El impacto principal fue en la capacidad ociosa, que se redujo significativamente de 15 a 5 toneladas, indicando que, aunque el sistema es robusto, opera con un margen de seguridad mucho menor. Esto sugiere que futuras caídas en la oferta podrían generar cambios drásticos en la estrategia logística.

3) **ESCENARIO 3: AUMENTO DE LA DEMANDA**

En la tabla 11, se simula un aumento del 18.75% en la demanda de Lima/Callao, de 80 a 95 toneladas mensuales, lo que incrementa el costo total en un 10.18%, alcanzando los S/ 207,047.60. El modelo se ajusta eficazmente al aumento sin alterar las asignaciones a otros destinos, pero lleva al agotamiento total de la capacidad de oferta en Chimbote, eliminando el margen de maniobra. Esta falta de capacidad operativa adicional representa un riesgo significativo, lo que subraya la necesidad de evaluar una expansión de la capacidad o un rediseño logístico para evitar rupturas en la cadena de suministro.

VII. DISCUSIÓN

La implementación del modelo de transporte basado en programación lineal demostró ser altamente efectiva, alcanzando un costo logístico mínimo de S/ 187,907.10 y generando ahorros verificables de entre 10% y 15% respecto a la situación inicial. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que destacan el impacto positivo de

los modelos matemáticos en la optimización logística del sector pesquero [8].

El impacto cuantitativo más significativo se observó en la eficiencia de los activos: la utilización de la flota aumentó del 65% al 90.6%, reduciendo la capacidad ociosa del 35% a solo un 9.4%. Esta transformación de recursos subutilizados en capacidad productiva no solo optimiza la operación diaria, sino que también libera capital que puede ser redirigido hacia la expansión del mercado o la mejora de la infraestructura [15].

En la optimización de rutas, el modelo asignó eficientemente 80 toneladas a Lima/Callao, 35 a Piura/Paita y 30 a Chiclayo, satisfaciendo la demanda sin exceder la capacidad. Este resultado coincide con estudios que aplicaron programación lineal en empresas pesqueras de Lambayeque, logrando un incremento del 24% en la utilidad total y una mejora del 32% en la eficiencia de sus recursos [14].

En la gestión de la capacidad excedente, el modelo redujo el excedente a 15 toneladas mensuales (9.4% de la capacidad total), lo que presenta una oportunidad estratégica controlada para responder a picos de demanda. Esto es similar a los hallazgos de especialistas que documentaron una reducción del 25% en los tiempos de ciclo logístico mediante la aplicación de herramientas analíticas en empresas del sector [15].

El análisis de costos determinó que el diésel (33%) sigue siendo el factor más influyente. Este desglose es fundamental y coincide con los resultados de autores que, aplicando programación no lineal y simulación Monte Carlo, lograron una mejora del 22% en el valor presente neto de la pesquería peruana [16].

Para validar la superioridad del enfoque, el modelo de programación lineal fue comparado con métodos heurísticos tradicionales. Se demostró que métodos como el de la Esquina Noroeste, aunque más simples, generan un sobrecosto de 1.9%, lo que equivale a más de S/ 42,000 anuales en gastos adicionales. Esto confirma que la inversión en modelamiento matemático avanzado se justifica económicamente [9].

En cuanto a la robustez, el análisis de sensibilidad reveló que el modelo mantiene la estrategia de distribución óptima incluso ante un aumento del 10% en los costos de transporte o una reducción del 6.25% en la oferta. Esta estabilidad es crucial para la planificación estratégica en un sector caracterizado por una alta variabilidad [11].

Finalmente, la aplicación de estas herramientas de optimización permite superar las limitaciones de la planificación empírica tradicional, proporcionando soluciones cuantificables y replicables [17]. La gestión logística optimizada, por tanto, no solo reduce costos, sino que se consolida como una ventaja competitiva sostenible.

VIII. CONCLUSIONES

El análisis logístico de la Empresa Pesquera mostró una distribución eficiente desde la planta en Chimbote hacia las

sucursales en Lima, Callao, Piura/Paita y Chiclayo. Se detectó excedentes de capacidad en Piura/Paita y Chiclayo, con 15 toneladas mensuales no utilizadas, lo que representa una oportunidad para mejorar la eficiencia mediante una asignación estratégica de carga.

Por otra parte, la formulación y ejecución del modelo matemático de transporte en LINGO optimizó los costos logísticos totales, alcanzando un costo mínimo de S/ 187,907.10 bajo las condiciones actuales de oferta y demanda. La solución garantiza el cumplimiento de las demandas mínimas sin exceder la capacidad disponible, demostrando la efectividad del modelo para mejorar la toma de decisiones logísticas.

Así mismo, en los escenarios de simulación se descubrió los riesgos clave, como el aumento de costos, la reducción de la capacidad de oferta y el crecimiento de la demanda. De tal modo, se concluyó que la empresa debe anticipar estas variaciones mediante estrategias como la negociación de tarifas, mejora de infraestructura o uso de centros de distribución intermedios para evitar cuellos de botella.

Por consiguiente, la aplicación del modelo de transporte permitió analizar el impacto económico de distintos escenarios, mostrando cambios en la demanda o capacidad afectan el costo total sin modificar los tiempos de entrega. En síntesis, el uso de modelos matemáticos mejora la planificación logística, garantizando la ejecución de la cadena de frío y un abastecimiento eficiente hacia los mercados objetivo.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda aprovechar la capacidad excedente de oferta (15 toneladas mensuales) para atender nuevos mercados o aumentar la frecuencia de distribución, especialmente en regiones como Chiclayo y Piura/Paita. Esto permitiría una mejor utilización de los recursos logísticos y una reducción en los costos por tonelada transportada. Ante un posible incremento del 10% en los costos de transporte, se sugiere implementar un sistema de control y monitoreo periódico de los componentes clave del costo, como el diésel, los salarios y el mantenimiento.

Si bien una reducción del 6.25% en la capacidad de oferta no afecta la distribución actual, sí disminuye el margen de maniobra. Por ello, se recomienda establecer planes de contingencia, como almacenamiento intermedio, contratos logísticos flexibles o acuerdos de abastecimiento alternativo, que aseguren la continuidad operativa en escenarios de menor producción.

Dado el aumento de la demanda en Lima/Callao, que eliminó la capacidad ociosa disponible, se aconseja actualizar el modelo periódicamente para anticipar escenarios de crecimiento sostenido y prevenir cuellos de botella.

Finalmente, considerando que el modelo matemático de transporte ha demostrado su efectividad en la optimización de costos logísticos, se recomienda su adopción formal en los procesos de planificación de la empresa. Esto implica

capacitar al personal en su uso y mantenerlo actualizado con datos reales.

REFERENCIAS

- [1] FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. <https://www.fao.org/3/cc0461es/online/sofia/2022/world-fisheries-aquaculture.html>
- [2] Sociedad Nacional de Pesquería. (2024). Sector pesquero apuntalará la economía peruana. SNP. <https://snp.org.pe/>
- [3] Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). Plan Nacional de Competitividad y Productividad: Medida 4.2 - Reducir costos logísticos. <https://www.gob.pe/institucion/mef/campanas/229-plan-nacional-de-competitividad-y-productividad>
- [4] Banco Mundial. (2020). Logistics Performance Index 2020. <https://lpi.worldbank.org/>
- [5] Ticse, E., Valdivia, C., Ugarte, R., Briceño, J., Vera, G., Neyra, K., & Neyra, L. (2021). Importancia de la industria pesquera en el Perú. En Actas de la LACCEI International Multi-Conference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2021.1.1.24>
- [6] Castillo, H., y Urbina, L. (2020). Aplicación de un modelo de gestión logística para disminuir los costos logísticos en una empresa conservera pesquera. Revista de Investigación Científica y Tecnológica, 4(2), 25-38. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4742531>
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>
- [8] Christopher, M. (2016). Logistics & supply chain management (5.ª ed.). Pearson Education. <https://surl.li/kvsleh>
- [9] Taha, H. A. (2017). Operations research: An introduction (10ma ed.). Pearson. <https://www.redalyc.org/journal/290/29062051009/html/>
- [10] Hillier, F. S., Y Lieberman, G. J. (2015). Introduction to operations research (10.ª ed.). McGraw Hill. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6709>
- [11] Winston, W. L. (2004). Operations research: Applications and algorithms (4ta ed.). <https://goo.su/XwO2E>
- [12] Council of Supply Chain Management Professionals. (2023). Supply chain management definitions and glossary. https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- [13] TEO Y DAJACMA (2025). Google Docs. Recuperado el 4 de julio de 2025. <https://goo.su/xqmbGi>
- [14] Collantes, X., & Liza, Y. (2021). Aplicación de programación lineal para maximizar la utilidad en empresa pesquera de Santa Rosa, Lambayeque [Tesis de pregrado]. [Universidad Señor de Sipán]. <https://goo.su/xxgq>
- [15] Orosco, J. A., y Nuntón, J. E. (2021). Propuesta de gestión logística para mejorar la productividad en las empresas pesqueras del distrito de Santa Rosa - Chiclayo. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4840>
- [16] Ramos, J., & Espinoza, M. (2020). Optimización del valor de la pesquería peruana de anchoveta mediante programación no lineal y simulación Monte Carlo. [Tesis de pregrado, Universidad del Pacífico]. Repositorio Institucional UP. <https://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/2809>
- [17] Flores, M., Escudero, F., & Pinedo, P. (2022). Aplicación de la gestión logística para reducir los costos logísticos de la empresa FIMSAG S.A.C., Chimbote, 2022. Revista de Emprendimiento Científico Tecnológico, 2(1), 1-15. <https://revista.ectperu.org.pe/index.php/ect/article/view/78>