

PLANIFICACIÓN AGREGADA PARA EL TRANSPORTE DE PERSONAL Y MATERIALES EN EL SECTOR HIDROCARBUROS

CARLOS SEBASTIAN PACHÓN CUBIDES*

<https://orcid.org/0009-0001-7722-5916>

Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de los Andes, Colombia

LUIS TARAZONA-TORRES

<https://orcid.org/0000-0003-0567-6926>

Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de los Andes, Colombia

Recibido: 7 de enero del 2025 / Aceptado: 24 de febrero del 2025

Publicado: 10 de junio del 2025

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7682>

RESUMEN. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar una planificación agregada para el transporte de personal y material en una empresa del sector de hidrocarburos, utilizando como caso de estudio a una empresa ubicada en Perú. En el análisis, se evaluaron dos estrategias clave: persecución y nivelación, ambas aplicadas a distintos modos de transporte, como ala fija, ala rotatoria, fluvial y terrestre. A través de este análisis, se observó que la estrategia de persecución resultó ser la más adecuada para la empresa, ya que no solo presenta menores costos operativos en comparación con la estrategia de nivelación, sino que también permite cumplir con la demanda mensual de manera precisa, lo que facilita una planificación efectiva para el próximo año, basada en los resultados obtenidos de la planificación agregada.

PALABRAS CLAVE: planeación agregada / nivelación / persecución / transporte de recursos / transporte de personal

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal

Correos electrónicos en orden de aparición: cs.pachon@uniandes.edu.co; le.tarazona@uniandes.edu.co

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

AGGREGATE PLANNING FOR STAFF AND MATERIAL TRANSPORTATION IN THE OIL AND GAS SECTOR

ABSTRACT. The objective of this study was to develop an aggregated planning for the transportation of personnel and material in a hydrocarbon sector company, using a company located in Peru as a case study. In the analysis, two key strategies were evaluated: chasing and leveling, applied to different modes of transportation, such as fixed wing, rotary wing, river and land. Through this analysis, it was observed that the chasing strategy proved to be the most appropriate for the company, since it not only presents lower operating costs compared to the leveling strategy but also allows them to meet the monthly demand accurately, which facilitates effective planning for the next year, based on the results obtained from the aggregate planning.

KEYWORDS: aggregate planning / leveling / chasing / resource transportation / personal transportation

INTRODUCCIÓN

El sector de hidrocarburos es fundamental para el desarrollo económico global y su eficiencia operativa depende en gran medida de la optimización de sus sistemas logísticos y de transporte. Las organizaciones en este sector cuentan con un complejo sistema de transporte que facilita el traslado de personal y material; para ello, utilizan cuatro medios principales: terrestre y fluvial, destinados principalmente al movimiento de materiales; y aéreos, tanto de ala fija (aviones comerciales) como de ala rotatoria (helicópteros), utilizados para transportar material y personal, especialmente en áreas de acceso restringido, como plantas y yacimientos.

La gestión eficiente de estos recursos logísticos presenta desafíos significativos. Prado Cornejo (2019) ha indicado que la manera en la que se toma de decisiones para transportar eficazmente materiales y personal —considerando las diferentes opciones y necesidades específicas de cada situación— es crítica. Los viajes se definen por tonelaje en el caso del material; y, por capacidad de pasajeros, en el caso del personal. Sin embargo, la falta de pronósticos adecuados para determinar la cantidad de material o personal que se moverá a través de los diferentes medios de transporte dificulta la planificación eficiente. Entonces, es imperativo definir cuántos viajes se necesitan de cada medio para optimizar la gestión de recursos y satisfacer las demandas operativas de manera óptima.

En este contexto, la planeación agregada de la producción y la gestión eficiente de recursos han sido ampliamente estudiadas en diversos sectores industriales. Caicedo Rolón et al. (2019) destacaron que la planeación de la producción es una decisión táctica a mediano plazo que determina el nivel de trabajadores, inventarios y producción requeridos para satisfacer la demanda en un horizonte de planificación. Su estudio en una industria metalmecánica mediana desarrolló una estrategia mixta que incluyó la persecución (contratación y despido) y nivel de inventarios a partir de un modelo de programación lineal, lo que logró minimizar los costos asociados al plan y satisfacer los requerimientos de la demanda. Asimismo, Gelves Alarcón y Navarro Romero (2021) destacaron la importancia de la gestión de la producción en la formación de ingenieros industriales. Su libro ofrece un enfoque teórico y práctico sobre planeación de la producción y técnicas cuantitativas de pronóstico de demanda, lo que facilita su aplicación en el ámbito profesional.

Por otro lado, Madariaga Fernández et al. (2022) han propuesto una metodología multicriterio para la clasificación de clientes, para lo cual utilizan algoritmos *K-nearest-neighbors* (KNN) y una modificación al modelo de recencia, frecuencia y valor monetario (RFM) como sustento para la planeación agregada. Esta metodología permite un análisis individualizado del comportamiento de los clientes, lo que facilita la toma de decisiones y optimiza el proceso de venta desde una visión general.

La optimización mediante algoritmos también ha sido explorada. Ortiz-Licona et al. (2020) han presentado una solución al problema de planeación agregada de la producción mediante el algoritmo de búsqueda gravitacional (*gravitational search algorithm*, GSA). Este enfoque incluye el manejo de restricciones y demuestra la capacidad del algoritmo para encontrar soluciones óptimas en problemas con alto grado de dificultad, aplicable en contextos con gran cantidad de variables y restricciones, como en el sector de hidrocarburos.

La aplicación de estrategias de planeación agregada para incrementar la productividad ha sido destacada por Alvarez Valencia y Marroquín Chávez (2019), quienes analizaron el proceso de producción en una organización. Mediante el diseño de tres estrategias de planeación agregada y un modelo de programación lineal, basado en el pronóstico de la demanda histórica, lograron incrementar el índice combinado de productividad en un 19 % respecto al año anterior, lo que mejoró la productividad de la organización (Alvarez Valencia y Marroquín Chávez, 2019).

La reducción de costos mediante la planeación agregada también ha sido objeto de estudio. Cruz et al. (2022) analizaron estrategias de planificación agregada bajo un enfoque de simulación Montecarlo para reducir costos de producción. A través de la simulación, generaron soluciones para distintas estrategias de planeación agregada, considerando variables como fuerza laboral, niveles de inventario, horas extras y subcontratación, lo que satisface diferentes patrones de demanda y optimiza la administración de la producción (Cruz et al., 2022).

La planeación de la producción tiene un efecto positivo en la productividad, como lo demuestran estudios de Cieza Silva (2020) y Gavidia Gurbillon y Quiroz Santisteban (2023). Ambos trabajos aplicaron el pronóstico de la demanda, estrategias de planeación agregada y el plan maestro de producción, lo que ha logrado incrementos en la productividad del 8 % y 24 %, respectivamente, y se ha confirmado el impacto favorable de la planeación estratégica en los procesos productivos.

La aplicación del plan agregado de producción para mejorar la productividad y reducir costos ha sido explorada en diversos estudios. Gálvez Castañeda y Valencia Carrera (2019) aplicaron el sistema de plan agregado de producción en una organización y lograron aumentar la productividad en un 11,7 %, con lo que se eliminaron inventarios y redujeron costos de almacenamiento.

Asimismo, la optimización de costos mediante modelos matemáticos y herramientas de pronóstico es esencial en la planificación eficiente. En ese sentido, Sánchez Verdezoto et al. (2022) desarrollaron el modelo matemático Sarima para pronosticar la producción mensual en una organización, el cual permite realizar proyecciones precisas y comparar resultados con la metodología utilizada por la organización.

La comparación de metodologías también es relevante. Chaves-Aguilar et al. (2020) compararon el costo del plan agregado de fabricación de botellas PET calculado mediante metodologías americana y europea para diferentes escenarios, y se ha observado que los costos variaban dependiendo de las variables consideradas y los pronósticos utilizados. El estudio concluye que el costo de producción del plan agregado por metodologías europeas tiende a ser mayor, debido a la inclusión de variables adicionales, como la mano de obra y las órdenes atrasadas; sin embargo, los pronósticos juegan un papel determinante en la elección de la metodología.

En el sector de la construcción, Melchor y Monserrat (2023) implementaron la planeación agregada en una organización y lograron minimizar costos operativos a través de la previsión de producción en un plazo determinado. Asimismo, Moreto-Febre et al. (2022) aplicaron un modelo de transporte para optimizar los costos en el planeamiento agregado de una organización y concluyeron que el modelo tuvo un impacto positivo en la optimización de costos de producción.

De igual manera, la gestión de producción y la planificación de materiales son cruciales para mejorar la eficiencia operativa. Nieto Rivas y Oñate Peñuela (2023) diseñaron un sistema de gestión de producción utilizando pronósticos de demanda y planeación agregada en una organización, con el cual se abordó problemas como el manejo nulo de control de demanda y las deficiencias en el cálculo de requerimientos de materiales. También, Saavedra Zapata y Sevillano Ordinola (2021) propusieron un plan de requerimiento de materiales (*material requirements planning*, MRP) para disminuir los costos de inventario en una panificadora, con el cual lograron un ahorro significativo y justificaron la implementación del MRP. En esta misma línea, Gallardo Díaz y Salvatierra Ramos (2020) investigaron el impacto de un sistema MRP en los costos de inventario de manufacturas de calzado. Utilizando un diseño preexperimental y un enfoque cuantitativo, analizaron los productos más demandados mediante la metodología ABC y el diagrama de Pareto. Los resultados mostraron que la implementación del MRP redujo los costos de inventario en un 52,61 %, por lo que se pasó de S/ 2 597 221,47 a S/ 1 230 790,74. La hipótesis se comprobó mediante pruebas estadísticas en SPSS, lo que ha evidenciado que el MRP optimiza la gestión de inventarios (Gallardo Díaz y Salvatierra Ramos 2020).

Custodio Gómez y Sánchez Gómez (2020) desarrollaron un modelo de plan de requerimiento de materiales en la línea de producción de cuero curtido, con lo que se logró una reducción del 4 % en los costos totales anuales de inventario. Estos estudios han evidenciado que la aplicación de modelos de planeación y gestión de materiales tiene un impacto directo en la reducción de costos y mejora de la eficiencia operativa.

Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020) han abordado el impacto de la implementación de un sistema MRP en una organización de manufactura de calzado, en el que resaltan

una reducción del 33,89 % en los costos de inventario. A su vez, Charpentier Alcívar et al. (2021) diseñaron una metodología para planificar el transporte de carga en el mediano plazo, vinculando los planes anuales y operativos para mejorar la eficiencia en la relación entre proveedores de transporte y clientes. En esta misma línea, Flórez García (2019) destacó la importancia de la planeación de la producción en las empresas manufactureras, enfatizando su papel en la gestión eficiente de los recursos necesarios para fabricar productos conforme al programa de producción. En ese sentido, la adecuada planificación permite mejorar el control sobre órdenes de emergencia, optimizar los inventarios, maximizar la utilización de la capacidad instalada y reducir tiempos muertos. Además, contribuye a mejorar los tiempos de entrega, incrementar el nivel de servicio, minimizar productos defectuosos y disminuir los costos logísticos.

A pesar de los avances en la aplicación de modelos de planeación y optimización en diversos sectores, el sector de hidrocarburos enfrenta una carencia significativa de herramientas específicas que mejoren la toma de decisiones en la logística de transporte de materiales y personal. Por ello, este artículo tiene como objetivo desarrollar un modelo de planeación que permita determinar la cantidad óptima de viajes necesarios para cada medio de transporte con el fin de optimizar la gestión de recursos y satisfacer las demandas operativas de manera eficiente.

La planeación agregada ha demostrado su capacidad para optimizar recursos y reducir costos en sectores como la manufactura, la construcción y el transporte; sin embargo, el sector de hidrocarburos presenta desafíos únicos derivados de la complejidad de sus sistemas logísticos y operativos. Estos incluyen la necesidad de coordinar el transporte de grandes volúmenes de materiales, pasajeros y equipos bajo restricciones estrictas, como las que imponen las operaciones en áreas remotas. La Tabla 1 resume los principales enfoques y modelos empleados en estudios previos, en los que se han abarcado estrategias de persecución, nivelación, pronósticos de demanda y modelos matemáticos aplicados en otros sectores, destacando su impacto en la optimización de recursos.

Tabla 1
Revisión de literatura correspondiente a planeación agregada y pronósticos

Autor	Planeación agregada		
	Persecución	Nivelación	Otro
Caicedo Rolón et al. (2019)	X		
Madariaga Fernández et al. (2022)			X
Ortiz-Licona et al. (2020)			X
Chaves-Aguilar et al. (2020)	X		X

(continúa)

(continuación)

Autor	Planeación agregada		
	Persecución	Nivelación	Otro
Alvarez Valencia et al. (2019)	X	X	
Cruz et al. (2022)	X		
Cieza Silva (2020)	X	X	X
Melchor y Monserrat (2019)	X	X	
Caiza (2022)		X	
Custodio Gómez y Sánchez Gómez (2020)	X	X	X
Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020)			X
Saavedra Zapata y Sevillano Ordinola (2020)			
Charpentier Alcívar et al. (2021)	X		X

METODOLOGÍA

Enfoque metodológico

Esta investigación, de enfoque aplicado, no experimental, descriptivo y cuantitativo, analiza y propone soluciones a los desafíos operativos de transporte en una empresa del sector hidrocarburos en Perú, afectada por condiciones geográficas y climáticas complejas. La empresa utiliza transporte aéreo para personal y productos perecederos, fluvial para materiales pesados y terrestre en rutas accesibles. La combinación de medios plantea retos en costos, tiempos y capacidades operativas, de los que destaca la necesidad de estrategias que optimicen los recursos y garanticen la sostenibilidad.

Diagnóstico del proceso de transporte actual

El análisis inicial evaluó el estado actual del transporte en la empresa, abarcando el traslado de personal y carga. Se identificaron recursos disponibles (helicópteros, aviones, embarcaciones y vehículos terrestres), costos asociados (combustible, mantenimiento y tiempos) y restricciones operativas (capacidad de carga y factores climáticos). La información fue complementada con referencias clave, como los estudios de Prado Cornejo (2019) y Huanay Allca et al. (2015). Estos diagnósticos permitieron identificar cuellos de botella y áreas críticas que requerían atención para mejorar la eficiencia.

Planeación agregada para el transporte

Con los resultados del diagnóstico, se procedió a desarrollar una planeación agregada que integra las capacidades de los diferentes medios de transporte, con el objetivo de optimizar la asignación de recursos. Este proceso incluyó lo siguiente:

- Análisis de las capacidades máximas: considerar el tonelaje permitido y las limitaciones físicas de los medios de transporte.
- Distribución de recursos: determinar la proporción óptima de carga y personal asignados a cada medio.
- Evaluación de estrategias: comparar diferentes escenarios operativos para identificar la alternativa más eficiente en términos de costos y tiempos.

Se establecieron estrategias de priorización según el tipo de carga (perecedera, pesada, o general) y el destino para asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles y minimizar el impacto de las restricciones operativas.

Formulación matemática y supuestos

En la Tabla 2, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte terrestre. Estas variables incluyen la capacidad de la flota A, la capacidad de la flota B y la capacidad de la flota de terceros; la cantidad de vehículos disponibles en cada una de estas flotas (A, B y terceros); el costo por viaje para las flotas A, B y de terceros; y el máximo número de viajes permitidos para cada flota (A, B y terceros).

Tabla 2
Variables iniciales transporte terrestre

Descripción	Flota A	Flota B	Terceros
Capacidad	20	25	30
Número de vehículos	50	40	30
Costo por viaje (dólares)	1015,00	1015,00	1167,19
Máximo viajes por mes	7	7	7

En la Tabla 3, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte fluvial. Estas variables incluyen la capacidad de cada embarcación, el número total de embarcaciones disponibles, el costo por viaje y el máximo número de viajes permitidos por embarcación.

Tabla 3*Variables iniciales transporte fluvial*

Descripción	Embarcación
Capacidad (toneladas)	350
Número de embarcaciones	15
Costo por viaje (dólares)	10 000
Máximo viajes por mes	4

En la Tabla 4, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte aéreo con ala fija. Estas variables incluyen la capacidad de los aviones y el costo por viaje para el transporte de personal, así como el tonelaje máximo permitido y el precio por viaje para el transporte de material.

Tabla 4*Variables iniciales del transporte de ala fija*

Categoría	Parámetro	Valor
Personal	Capacidad avión	76
	Costo por viaje (dólares)	3712,60
Material	Tonelaje máximo	27,62
	Precio por viaje (dólares)	104,500

En la Tabla 5, se presentan las variables iniciales y sus respectivos valores para el transporte aéreo con ala rotatoria. Estas variables incluyen la cantidad de aeronaves disponibles para los tipos AR tipo 1 y AR tipo 2, la capacidad máxima de pasajeros y el peso estimado por persona, el tonelaje máximo permitido por aeronave, el costo por viaje y la capacidad máxima de pasajeros expresada en peso para cada tipo de aeronave.

Tabla 5*Variables iniciales transporte ala rotatoria*

Descripción	AR tipo 1	AR tipo 2
Cantidad de aeronaves	2	2
Capacidad máxima de pasajeros	10	19
Peso por persona (toneladas)	0,072	0,072
Tonelaje máximo por aeronave	1,0	3,5
Costo por viaje (dólares)	680,30	1292,57
Capacidad máxima de pasajeros en peso (toneladas)	0,720	1,368

Estrategias utilizadas

La planeación agregada aplicada en el estudio incluyó dos enfoques principales: la estrategia de persecución y la estrategia de nivelación.

Estrategia de persecución

Según Nahmias, S. (2017), la estrategia de persecución se centra en ajustar el número de trabajadores y recursos de transporte para satisfacer la demanda de cada periodo para minimizar inventarios y garantizar una respuesta ágil a las variaciones de demanda.

$$W_t = \frac{P_t}{K * n_t}$$

Donde:

Wt: número de vehículos a utilizar del periodo t

Pt: demanda pronosticada del periodo t

K: capacidad de material o personal por vehículo

nt: número de viajes

Algoritmo utilizado para calcular la estrategia de persecución

Este algoritmo de planificación de transporte, sea de carga o personal, utiliza una estrategia de persecución que se ajusta a las demandas mensuales, calculando viajes, vehículos y costos según la capacidad y restricciones. Si es necesario, recurre a una flota externa. Estos cálculos consideran restricciones como la capacidad máxima y los costos por viaje. Finalmente, organiza los resultados en un DataFrame y los exporta a un archivo Excel para facilitar su análisis y toma de decisiones.

Tabla 6

Algoritmo 1: estrategia de persecución

-
1. DEFINIR variables iniciales
 2. DEFINIR función calcular_viajes_vehículos_costos_persecución
 - a. Para cada mes, calcular viajes y vehículos requeridos
 - Determinar vehículos necesarios y ajustar a restricciones
 - Calcular tonelaje transportado por el primer tipo de vehículo
 - b. Calcular viajes, vehículos y tonelaje transportado para el segundo tipo de vehículo si queda demanda (dependiendo el medio de transporte)
 - c. Calcular viajes, vehículos y tonelaje transportado para la flota de terceros si queda demanda adicional (dependiendo el medio de transporte)
 - d. Calcular costos totales del mes (viajes × costo por viaje)
 - e. Almacenar datos: viajes, vehículos usados, tonelaje transportado y costos
 3. LLAMAR a la función con los parámetros definidos
 4. CREAR un DataFrame con
 - Meses, tonelaje requerido, viajes y vehículos usados por flota, tonelaje transportado total y costos
 5. EXPORTAR el DataFrame a un archivo Excel con los resultados calculados
-

Estrategia de nivelación

Según Nahmias (2017), la estrategia de nivelación busca mantener un número constante de trabajadores y acumular inventarios en periodos de baja demanda para satisfacer los picos. La formulación del número constante mínimo de trabajadores W^* que puede satisfacer la demanda en el horizonte T se calcula de la siguiente manera:

$$W^* = \max \left(\frac{\sum_{i=1}^t D_i}{K * \sum_{i=1}^t n_i} \right)$$

Donde:

W^* : número mínimo constante de vehículos requeridos para satisfacer la demanda

D_i : demanda proyectada para el periodo i

K : viajes promedio por vehículo en una unidad de tiempo (meses)

n_i : número de días operativos al mes (30)

Algoritmo utilizado para calcular la estrategia de nivelación

Este algoritmo implementa una estrategia de nivelación para la planificación del transporte, buscando mantener una carga uniforme a lo largo del tiempo. Primero, calcula la demanda promedio mensual basada en el tonelaje requerido. Luego, utiliza una función

que determina los viajes necesarios y el tonelaje transportado, comenzando por un tipo de vehículo y continuando con otros medios de transporte, incluidos terceros, en caso de demanda residual, todo bajo restricciones de capacidad y costos. Los costos mensuales se calculan para todas las flotas replicando estos valores uniformemente para cada mes. Finalmente, los resultados, que incluyen viajes, tonelaje transportado, vehículos utilizados y costos se organizan en un DataFrame y se exportan a un archivo Excel para facilitar el análisis y la toma de decisiones.

Tabla 7
Algoritmo 2: estrategia de nivelación

1. DEFINIR variables iniciales
2. CALCULAR demanda promedio mensual como el promedio del tonelaje requerido de acuerdo con las variables iniciales
3. DEFINIR función calcular_nivelación (demanda promedio, parámetros de vehículos)
a. Calcular viajes necesarios para un tipo de vehículo usando la capacidad y restricciones
b. Calcular tonelaje transportado por el vehículo y actualizar tonelaje restante
c. Repetir los cálculos para el segundo tipo de vehículo y flota de terceros (dependiendo el medio de transporte)
d. Calcular costos totales mensuales para todos los vehículos
e. Replicar viajes, tonelaje y costos para todos los meses
4. LLAMAR a la función calcular_nivelación con los parámetros iniciales
5. CREAR un DataFrame con resultados para meses, viajes, tonelaje transportado, vehículos usados y costos
6. EXPORTAR los resultados a un archivo Excel para análisis posterior

RESULTADOS

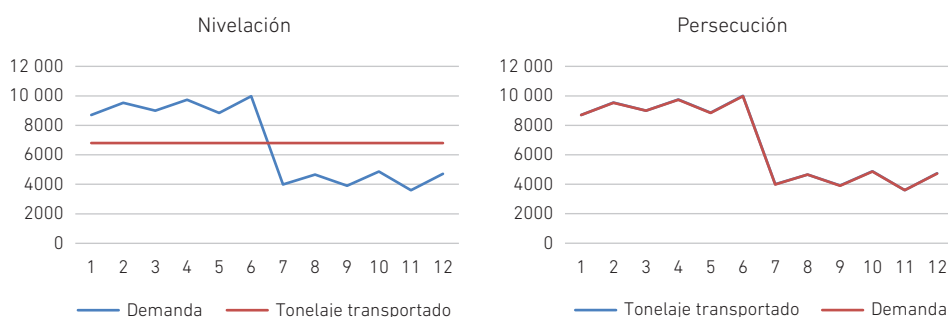
Resultados para transporte terrestre

En la Figura 1, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de materiales en camiones. En la estrategia de nivelación, el número de viajes, los vehículos utilizados y el costo mensual se mantienen constantes en US\$ 345 100, empleando exclusivamente la flota A, la cual satisface completamente la demanda anual sin necesidad de recurrir a la flota B ni contratar servicios de terceros. En este caso, el tonelaje transportado por la flota A se mantiene constante a lo largo del tiempo, a pesar de las variaciones en la demanda mensual, lo que refleja claramente la aplicación de esta estrategia. Por otro lado, en la estrategia de persecución, tanto la flota A como la flota B son utilizadas para ajustarse a las fluctuaciones mensuales de la demanda, por lo que se evita el uso de flotas de terceros. Aquí, el número de vehículos, el tonelaje transportado y los costos mensuales varían conforme a las necesidades de

cada mes. La asignación precisa de recursos hace que las diferencias entre el tonelaje transportado y la demanda sean mínimas, lo que permite observar únicamente la línea de la demanda en la Figura 1. Al final del periodo, ambas estrategias logran satisfacer la demanda total del año, aunque con enfoques operativos y resultados financieros distintos.

Figura 1

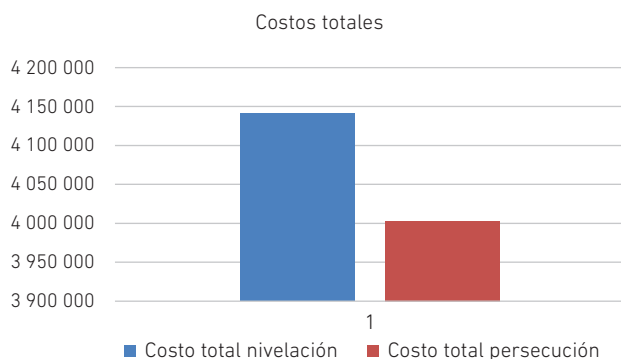
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte terrestre



En la Figura 2, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte terrestre de materiales. Se observa que el costo asociado a la estrategia de persecución es menor, lo que hace que esta opción sea más favorable para que la empresa la implemente al utilizar este medio de transporte.

Figura 2

Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte terrestre

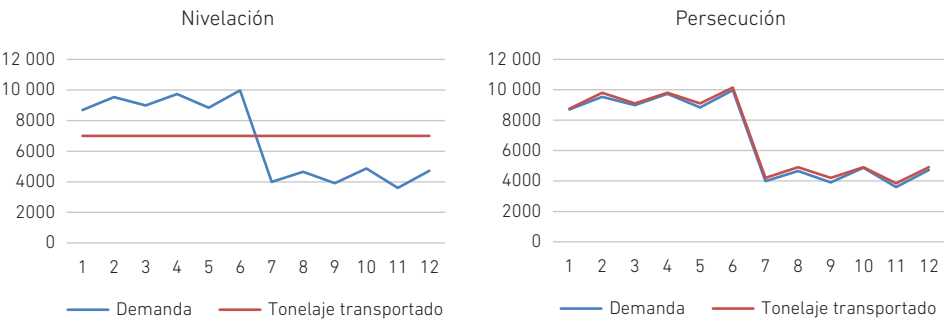


Resultados para transporte fluvial

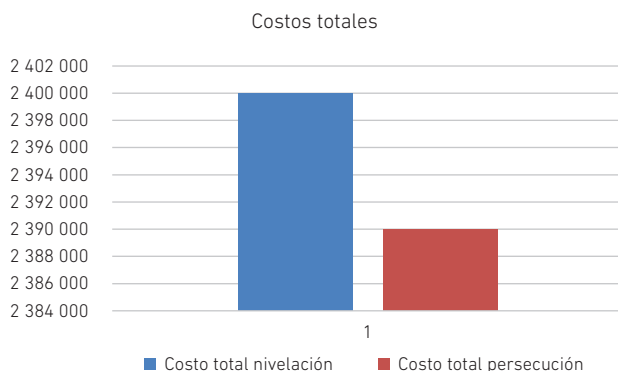
En la Figura 3, se comparan las estrategias de nivelación y persecución en el transporte de materiales por embarcaciones. La estrategia de nivelación utiliza cinco embarcaciones mensuales con un tonelaje constante, lo que asegura estabilidad operativa y satisface la demanda anual. En contraste, la estrategia de persecución ajusta viajes, tonelaje, embarcaciones y costos según la demanda mensual, lo que muestra flexibilidad en la asignación de recursos. Ambas estrategias cumplen la demanda anual, pero con enfoques diferentes en la gestión de recursos.

Figura 3

Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte fluvial

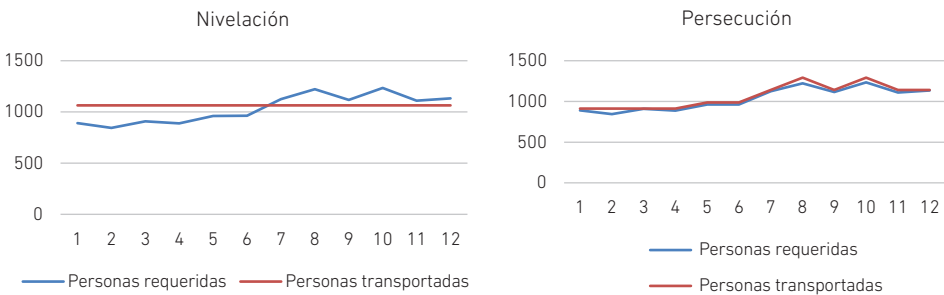


En la Figura 4, se presenta una comparación entre los costos totales de las estrategias de nivelación y persecución para el transporte fluvial de materiales. Se puede observar que el costo asociado a la estrategia de persecución es significativamente menor en comparación con la estrategia de nivelación. Este hecho hace que la estrategia de persecución sea más favorable, ya que permite a la empresa optimizar sus recursos y reducir los costos, lo que la convierte en la opción más adecuada para ser implementada al utilizar este medio de transporte.

Figura 4*Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte fluvial***Resultados para transporte ala fija personal (aviones comerciales)**

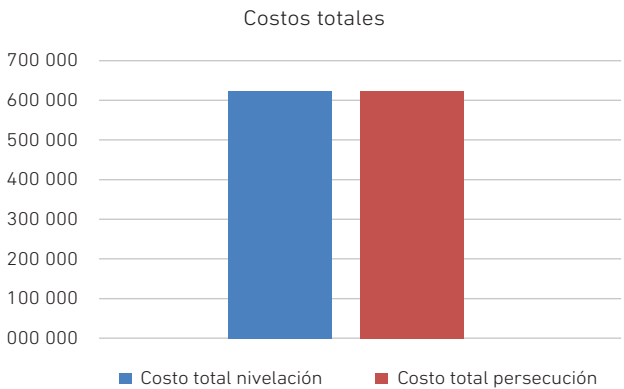
En la Figura 5, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de personal en ala fija. En la estrategia de nivelación, los datos incluyen el número de viajes realizados, la cantidad de personas transportadas y el costo total de los viajes mensuales. Este enfoque se caracteriza por mantener un número constante de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las fluctuaciones en la demanda mensual. Esta estabilidad operativa permite a la empresa planificar sus recursos de manera eficiente, lo que garantiza que al final del periodo se cumpla con la demanda total del año. Asimismo, en la estrategia de persecución, se ajusta dinámicamente el número de viajes realizados para satisfacer las variaciones mensuales en la demanda, lo que optimiza la utilización de los aviones y los costos operativos. En este caso, el número de personas transportadas y los viajes realizados varían mes a mes, lo que refleja una mayor adaptabilidad a las necesidades específicas de cada periodo. En la Figura 5, se observan dos líneas que siguen un comportamiento similar, lo que evidencia que los recursos se asignan de manera flexible para cumplir con los requerimientos mensuales. Esta adaptabilidad es una característica distintiva de la estrategia de persecución que permite ajustar los recursos según las fluctuaciones en la demanda operativa.

Figura 5
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte de personal en ala fija



En la Figura 6, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de personas en ala fija (aviones). Se observa que los costos de ambas estrategias son equivalentes, lo que permite a la empresa elegir la estrategia más adecuada según sus objetivos y prioridades operativas, ya sea estabilidad en los recursos utilizados o flexibilidad para ajustarse a la demanda. Los valores base utilizados fueron obtenidos de Coneo Rincón (2019).

Figura 6
Comparación entre costos nivelación y persecución para el transporte de personal en ala fija



Resultados para transporte de ala fija carga (aviones de carga)

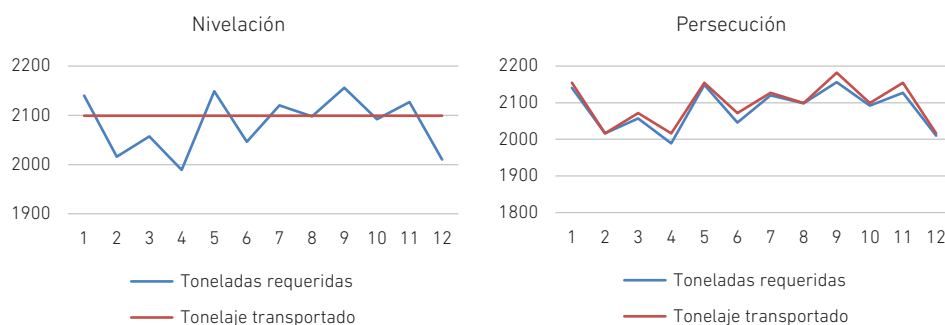
En la Figura 7, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte aéreo en la modalidad de ala fija (aviones). En la estrategia de nivelación, los datos incluyen las toneladas requeridas, el número total de viajes realizados y el costo mensual asociado. Este enfoque mantiene constante la cantidad

de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las variaciones mensuales en la demanda. Esta estabilidad permite a la empresa planificar sus operaciones de manera eficiente y predecible, lo que optimiza el uso de recursos y reduce la incertidumbre operativa. Como resultado, al finalizar el periodo, se logra cumplir con la demanda acumulada del año de manera eficiente y ordenada, tal como se observa en la Figura 10, donde el número de viajes permanece constante a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la estrategia de persecución se caracteriza por ajustar dinámicamente el número de viajes para satisfacer las necesidades específicas de cada mes. Los datos reflejan el número de viajes realizados, las toneladas transportadas y el costo total mensual. En este caso, los recursos se asignan de manera flexible en función de los requerimientos operativos, lo que permite una utilización óptima de los aviones y una gestión eficiente de los costos. A diferencia de la estrategia de nivelación, el número de toneladas transportadas varía mensualmente para adaptarse a la demanda, tal como se observa en la Figura 7, donde dos líneas evidencian un comportamiento similar entre la demanda y los recursos asignados. Esta capacidad de adaptarse a las fluctuaciones es una característica distintiva de la estrategia de persecución, lo que asegura una respuesta eficiente a los cambios en la demanda y optimiza el uso de los recursos disponibles.

Figura 7

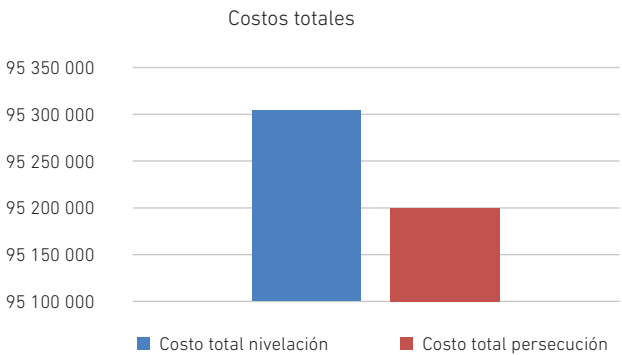
Estrategias de nivelación y persecución aplicadas para el transporte de material en ala fija



En la Figura 8, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material en ala fija (aviones). Se observa que el costo asociado a la estrategia de nivelación es superior al de la estrategia de persecución. Este análisis sugiere que la empresa debería optar por la estrategia de persecución para transportar material en ala fija, ya que permite una asignación más eficiente de los recursos y una reducción significativa en los costos operativos, por lo que se adapta mejor a las necesidades de la demanda mensual.

Figura 8

Comparación entre los costos nivelación y persecución para el transporte de material en ala fija



Transporte ala rotatoria (helicópteros)

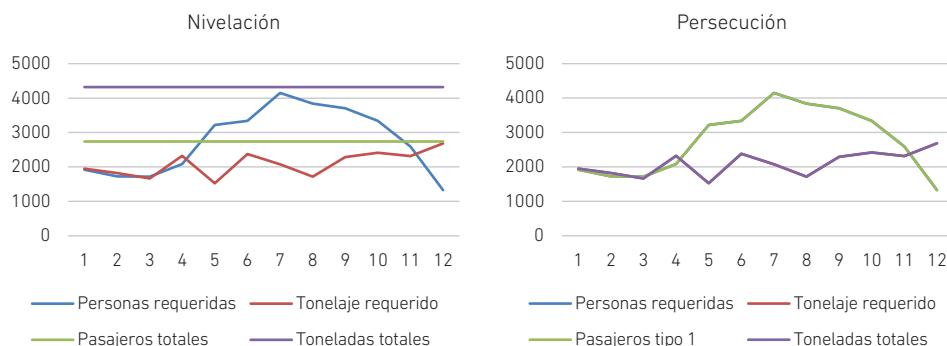
En la Figura 9, se presentan los resultados de las estrategias de nivelación y persecución aplicadas al transporte de personal y material en ala rotatoria (helicóptero). En la estrategia de nivelación, los datos incluyen el número de viajes realizados, la cantidad de personas transportadas, la cantidad de toneladas transportadas y el costo total de los viajes mensuales. Este enfoque se caracteriza por mantener un número constante de viajes a lo largo del tiempo, independientemente de las fluctuaciones en la demanda mensual. Esta estabilidad operativa permite a la empresa planificar sus recursos de manera eficiente, por lo que se garantiza que, al final del periodo, se cumpla con la demanda total del año.

Por otro lado, en la estrategia de persecución, se ajusta dinámicamente el número de viajes realizados para satisfacer las variaciones mensuales en la demanda, lo que optimiza la utilización de los aviones y los costos operativos. En este caso, el número de personas transportadas y los viajes realizados varían mes a mes, lo que refleja una mayor adaptabilidad a las necesidades específicas de cada periodo.

En la Figura 9, en la gráfica sobre la estrategia de persecución, se observan cuatro líneas que representan las personas requeridas, el tonelaje requerido, los pasajeros de tipo 1 y las toneladas totales. En la gráfica de nivelación también se aprecian cuatro líneas que corresponden a las personas requeridas, el tonelaje requerido, los pasajeros y las toneladas totales (véase la Figura 9).

Figura 9

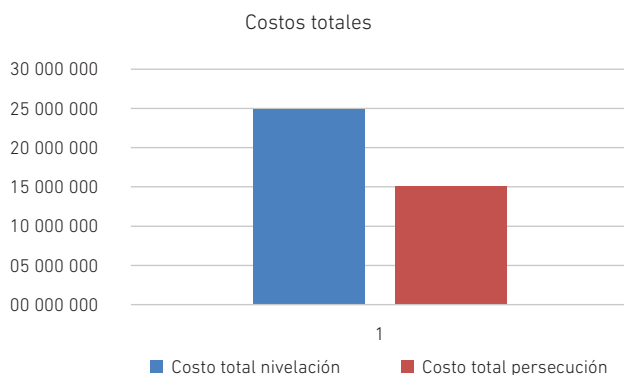
Estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria



En la Figura 10, se presenta una comparación de los costos totales entre las estrategias de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria (helicópteros). Se observa que el costo asociado a la estrategia de nivelación es superior al de la estrategia de persecución. Este análisis sugiere que la empresa debería optar por la estrategia de persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria, ya que permite una asignación más eficiente de los recursos y una reducción significativa en los costos operativos, por lo que se adapta mejor a las necesidades de la demanda mensual.

Figura 10

Comparación entre costos de nivelación y persecución para el transporte de material y personal en ala rotatoria



DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio sobre la aplicación de estrategias de nivelación y persecución en el transporte terrestre, fluvial y aéreo en el sector hidrocarburos complementan y extienden los resultados reportados en investigaciones previas sobre planeación agregada y gestión de recursos. Por ejemplo, la estabilidad operativa observada en la estrategia de nivelación refleja los beneficios de mantener niveles constantes de recursos y producción, como lo destacan Caicedo Rolón et al. (2019), quienes lograron minimizar costos en una industria metalmecánica al emplear una estrategia mixta. Asimismo, el ajuste dinámico de recursos en la estrategia de persecución concuerda con el enfoque propuesto por Ortiz-Licon et al. (2020), con el que se demostró la eficacia de algoritmos para optimizar la asignación de recursos frente a restricciones variables.

En el contexto específico del transporte, este estudio reafirma la importancia de la flexibilidad operativa para adaptarse a fluctuaciones de demanda, lo que se alinea con los hallazgos de Melchor y Monserrat (2023), quienes implementaron modelos de planeación agregada para optimizar costos operativos en organizaciones de construcción. De manera similar, las comparaciones de costos totales realizadas en este trabajo son consistentes con los estudios de Chaves-Aguilar et al. (2020), quienes identificaron cómo las variables y pronósticos empleados influyen en la elección de estrategias de planeación y los resultados obtenidos.

En cuanto a la gestión de inventarios, la capacidad de las estrategias de persecución para reducir costos y optimizar recursos resuena con los logros reportados por Cortijo Sánchez y Estrada Díaz (2020), quienes documentaron reducciones significativas de costos mediante la implementación de sistemas MRP en manufactura. Este aspecto también subraya la necesidad de sistemas robustos de pronóstico, como sugiere Caiza (2022), cuyos modelos de planeación y pronóstico permitieron minimizar costos y mejorar la precisión en las decisiones operativas.

Finalmente, los resultados de este estudio destacan la importancia de adaptar las herramientas de planeación agregada a las particularidades del sector hidrocarburos, lo que ha ampliado las conclusiones de Charpentier Alcívar et al. (2021) sobre la planificación del transporte de carga en el mediano plazo. Esto sugiere que, aunque las metodologías existentes ofrecen un marco sólido, es necesario desarrollar enfoques específicos que integren las características únicas de este sector, lo que maximiza la eficiencia operativa y la toma de decisiones en la logística de transporte.

CONCLUSIONES

La implementación de la planeación agregada para el transporte de materiales y personal resultó ser una herramienta clave para la empresa que opera en el sector de

hidrocarburos. Esta metodología permitió diseñar una estrategia eficiente orientada a minimizar los costos de transporte mientras se aseguraba el cumplimiento de la demanda proyectada para cada mes. En este proceso, se aplicaron y compararon dos estrategias principales: persecución y nivelación.

El análisis detallado de los costos asociados a cada estrategia reveló que la estrategia de persecución era la opción más favorable para todos los medios de transporte. Esto se debió a que, además de presentar el costo más bajo, esta estrategia logró satisfacer de manera precisa las necesidades de transporte mes a mes, lo que garantizó la optimización de los recursos disponibles.

Adicionalmente, los resultados proporcionaron información valiosa, como la cantidad de personas o materiales transportados, el número de vehículos requeridos por mes y la cantidad total de viajes que la empresa debe realizar. Estos datos se integraron en un plan de acción completo que sirve como base para las operaciones del año próximo, lo que facilitará una planificación más estructurada y eficiente. De esta forma, la empresa no solo optimiza sus costos operativos, sino que también mejora la capacidad de respuesta frente a las exigencias del sector y las variaciones en la demanda.

Para finalizar, la mejor estrategia a utilizar es la de persecución, ya que es la que garantiza costos más bajos mientras cumple con la demanda de manera precisa y eficiente, pues se adapta de forma adecuada a las necesidades operativas de la empresa en cada periodo.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Carlos Sebastian Pachón Cubides: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, administración de proyecto, recursos, *software*, visualización, escritura-borrador original, redacción: revisión y edición. **Luis Tarazona-Torres:** conceptualización, metodología, supervisión, validación, redacción: revisión y edición.

REFERENCIAS

Alvarez Valencia, C. M., & Marroquín Chávez, H. F. (2019). *Aplicación de un sistema de planeación agregada de la producción para incrementar la productividad de la empresa Sabor de Casa, 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47779>

- Caicedo Rolón, A. J., Criado-Alvarado, A. M., & Morales-Ramón, K. J. (2019). Modelo matemático para la planeación de la producción en una industria metalmecánica. *Scientia Et Technica*, 24(3), 408-419. <https://doi.org/10.22517/23447214.16031>
- Caiza, J. L. (2022). Modelo matemático de la producción de la empresa Salinerito en la provincia de Bolívar. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6588-6611. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n6-017>
- Charpentier Alcívar, A., Feitó Cespón, M., Durán Chávez, C. E., & Henríquez Jiménez, C. D. (2021). Planeación jerárquica de las transportaciones de carga en una pyme operadora logística. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(1), 6-15. <https://doi.org/10.62452/jpjs6812>
- Chaves-Aguilar, F., Ocampo-Rodríguez, J. C., Araya-Martínez, P., Meneses-Guzmán, M., & Gutiérrez-Brenes, R. (2020). Comparación del plan agregado de producción bajo metodologías de autores americanos y europeos. *Tecnología en Marcha*, 33(2), 17-26. <http://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4201>
- Cieza Silva, L. O. (2020). *Planeación de la producción y su efecto en la productividad en la empresa Avícola Denisse E. I. R. L., Jequetepeque, 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56068>
- Coneo Rincón, M. (2019, 18 de octubre). Conozca los costos y trámites que debe responder para tener avión privado en Colombia. *La República*. <https://www.larepublica.co/ocio/conozca-los-costos-y-tramites-que-debe-responder-para-tener-avion-privado-en-colombia-2965480>
- Cortijo Sánchez, S. D. M., & Estrada Diaz, R. N. A. (2020). *Implementación de un sistema MRP para disminuir los costos de inventarios en la empresa Manufacturas de Calzado Carubi S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45939>
- Cruz, G. P. L., García, J. A. J., González, S. H., & Ripalda, M. D. H. (2022). Reducción de los costos asociados a la producción mediante simulación Monte Carlo y planeación agregada. *Pistas Educativas*, 44(143), 560-573. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2715/2190>
- Custodio Gómez, C. F., & Sánchez Gómez, E. J. (2020). *Modelo de un plan de requerimiento de materiales en la línea de producción de cuero curtido de la empresa Curtiduría Orión S. A. C., 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51346>

- Flórez García, J. A. (2019). *Plan de mejoramiento de la planeación de la producción e inventarios de artículos terminados en maderas y tapizados en el centro productivo de Botero Losada S.A* [Proyecto de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/10280>
- Gallardo Díaz, E. N., & Salvatierra Ramos, D. O. (2020). *Efecto de un sistema MRP en los costos de inventarios de la empresa Manufacturas de Calzado Jaguar S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/52182>
- Gálvez Castañeda, M. Y., & Valencia Carrera, L. L. (2019). *Implementación de un sistema de planificación agregada de la producción para incrementar la productividad en la ladrillera Pakatnamú S. A. C., 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/50685>
- Gavidia Gurbillon, G. A., & Quiroz Santisteban, A. S. (2023). *Efecto de la mejora de la productividad mediante la planeación de la producción en la empresa Avícola El Palmar S. A. C. Trujillo, 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136743>
- Gelves Alarcón, O. M., & Navarro Romero, E. C. (2021). *Principios de la gestión de la producción: una revisión teórica y aplicada de los conceptos*. Ediciones USTA. <https://doi.org/10.15332/li.lib.2022.00327>
- Huanay Allca, F. E., Taboada Gomez, J. P. I., & Vásquez Benites, R. P. (2015). *Propuesta de mejora en el transporte de combustibles líquidos vía terrestre y fluvial a zonas remotas* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/596561>
- Madariaga Fernández, C. J., Lao León, Y. O., Curra Sosa, D. A., & Lorenzo Martín, R. (2022). Empleo de algoritmos KNN en metodología multicriterio para la clasificación de clientes, como sustento de la planeación agregada. *Retos de la Dirección*, 16(1), 178-198. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2306-91552022000100178&script=sci_arttext
- Melchor, B., & Monserrat, G. (2023). *Minimización de costos operativos a través de la aplicación de planeación agregada en el área de concretos de la empresa Concretos LAR, S. A. de CV en la ciudad de Tuxpan Veracruz* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temápache]. Repositorio

- Institucional del Tecnológico Nacional de México. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/5679>
- Moreto-Febre, L. P., Clavijo-Salas, C. L., Castillo Martínez, W. E., Olivos-Jiménez, L. M., & Miñan-Olivos, G. S. (2022, 6-7 de diciembre). Modelo de transporte para la optimización de costos en el planeamiento agregado de una empresa pesquera [Presentación de paper]. En *Exponential technologies and global challenges: Moving toward a new culture of entrepreneurship and innovation for sustainable development*. LACCEI. <http://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.65>
- Nahmias, S. (2017). *Análisis de la producción y las operaciones* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- Nieto Rivas, A. A., & Oñate Peñuela, N. (2023). *Modelo de gestión de producción a través de la gestión de inventarios y planeación de requerimientos de materiales en la organización Madear LTDA* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/39500>
- Ortiz-Licon, A., Tuoh-Mora, J. C. S., & Montufar-Benítez, M. A. (2020). Aplicación del algoritmo de búsqueda gravitacional para optimizar un problema de planeación agregada de la producción. *Pädi. Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 8(15), 1-6. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4945>
- Prado Cornejo, A. B. (2019). *Diseño y aplicación de un modelo de enrutamiento de vehículos para optimizar el planeamiento y programación de rutas de transporte aéreo de pasajeros en helicóptero en el proyecto Camisea* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11337>
- Saavedra Zapata, M. J., & Sevillano Ordinola, L. F. (2021). *Planeación de requerimiento de materiales para disminuir los costos del sistema de inventario en la empresa panificadora Sandoval-Larco, Trujillo 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio de la Universidad Privada Antenor Orrego. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/7827>
- Sánchez Verdezoto, C. A., Sánchez Verdezoto, C. del R., Cáliz Verdezoto, M. A., & Domínguez Caiza, J. L. (2022). Modelo matemático de la producción de la empresa Salinerito en la provincia de Bolívar. *South Florida Journal of Development*, 3(6), 6588-6611. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n6-017>