

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Propuesta de optimización en el abastecimiento de tiendas
de conveniencia utilizando algoritmos de packing y ruteo de
vehículos

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en
Ingeniería Industrial
que presenta:

Dickiam Moises Huarcaya Huallullo

Asesor:

Miguel Hermógenes Mejía Puente

Lima, 2023

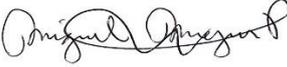
Informe de Similitud

Yo, **Miguel Hermógenes Mejía Puente**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de **maestría en ingeniería industrial**, investigación titulada: **Propuesta de optimización en el abastecimiento de tiendas de conveniencia utilizando algoritmos de packing y ruteo de vehículos** del/de la autor(a) / de los(as) autores(as) **Dickiam Moises Huarcaya Huallullo**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 03/07/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 03 de julio de 2023

.....

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2 Mejia Puente, Miguel Hermógenes</u>	
DNI: 06634011	Firma: 
ORCID: 0000-0002-4723-1856	

Agradecimientos y dedicatoria



Agradezco a Dios, por brindarme la lucidez necesaria para perseverar en los objetivos de la presente tesis.

Agradezco a mis profesores y asesor, por guiarme en el camino de la investigación y fomentar la rigurosidad académica.

Dedico el desarrollo de la presente tesis, a mis padres, por su apoyo constante a lo largo del desarrollo de la investigación.

Resumen

La presente tesis se centra en buscar la forma más eficiente de realizar el abastecimiento de mercaderías en una red de distribución de tiendas de conveniencia, las cuales se ubican en estaciones de servicios, también conocidas como grifos. Para ello se analiza el proceso de abastecimiento de una red constituida por 96 estaciones.

En el primer capítulo, se desarrollan tres grupos de conceptos relacionados con la tesis que servirán como fundamento teórico: la logística, el empaquetamiento y el modelo matemático de ruteo de vehículos. En el segundo capítulo, se presentan cuatro casos de estudio con aplicaciones y modelos matemáticos relacionadas al desarrollo de la tesis. En tercer capítulo, se realiza una descripción del entorno en el que se desarrolla la investigación que incluye la descripción de la empresa, sus procesos y servicios involucrados en la investigación, así como también un diagnóstico justificando la necesidad de realizar una propuesta de optimización. Posteriormente, en el cuarto capítulo, se realiza el estudio de la demanda, se confecciona la red y se plantea el modelo matemático que se propone para el abastecimiento de mercadería.

Finalmente, en el capítulo 5, se evalúan e interpretan los resultados, se presentan costo asociados en la propuesta y se analiza la viabilidad de los resultados. En el último capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones sobre el desarrollo de la tesis.

Como parte de los resultados, se propone un método de distribución que incluya la opción de recolocar mercadería directamente desde las estaciones de menor rotación hacia las que más lo requieran. Este cambio, conduce a un ahorro del 33% del costo de distribución, reducción en la necesidad de vehículos para abastecer, reducción en la gestión de seguimiento de entregas y mejora en la disponibilidad de mercadería por estación.

Índice General

Índice de figuras	vii
Índice de tablas	viii
Capítulo 1: Marco teórico	1
1. Logística	1
1.1 Funciones de la Logística.....	1
1.2 Gestión de inventarios.....	2
1.3 Sistemas de aprovisionamiento	3
1.3.1 Modelo de pedido de cantidad fija en condiciones de incertidumbre	5
1.3.2 Modelo interno de pedido fijo (con existencias de seguridad)	6
1.4 Costos de Inventarios.....	7
1.5 Indicadores Logísticos.....	9
1.5.1 Indicador de Rotación de Inventario	9
1.5.2 Indicador de disponibilidad de inventarios	10
1.5.3 Indicador de Costo por punto de entrega	10
1.5.4 Indicador de tamaño promedio del pedido.....	10
2. Empaquetamiento.....	11
2.1 El problema de empaquetamiento y el problema de corte	11
2.2 Clasificación del problema de empaquetado.....	12
2.3 Formulación de un modelo de corte	12
3. Problema de ruteo de vehículos (VRP).....	13
3.1 Formulación para el método exacto	14
3.2 Aproximación por el uso de heurísticas.....	15
Capítulo 2: Estudio de casos.....	18
Caso 1: Incremento de la eficiencia de costos en preparación de pedidos web usando cajas de recepción compartidas.....	18
Caso 2: Problema de ruteo de vehículos con entregas divisibles y recojo. ..	19
Caso 3: Problema de ruteo de vehículos con entregas separadas por días. ..	22
Caso 4: Estudio general sobre el uso y relocalización de vehículos compartidos urbanos. Una aplicación para el caso de la ciudad de concepción.....	24
Capítulo 3: Descripción de la empresa.....	27
3.1 El sector logístico en el Perú	27
3.2 Rol de los operadores logísticos	28
3.3 Descripción de la empresa	30
3.3.1 Servicios ofrecidos	32

3.3.2 Descripción del tipo de cliente.....	33
3.4 Descripción de etapas del servicio	34
3.4.1 Planificación de abastecimiento desde almacén.....	39
3.4.2 Planificación de la distribución	40
3.4.3 Logística inversa	41
3.5 Diagnostico de la situación actual.....	42
3.5.1 Diagrama de Pareto	42
3.5.2 Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).....	44
Capítulo 4: Propuesta de optimización y mejora	48
4.1 Estudio de la demanda	48
4.2 Planteamiento de la red	50
4.3 Formulación del modelo matemático	51
4.3.1 Evaluación de la cantidad de variables y restricciones	52
4.4 Agrupación de estaciones por método K-means	54
Capítulo 5: Evaluación de resultados	58
5.1 Interpretación de resultados	58
5.2 Impacto en el incumplimiento de entregas.....	59
5.3 Costo asociados a la propuesta de abastecimiento.....	60
5.4 Viabilidad de los resultados	62
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	63
6.1 Sobre la propuesta de mejora en el servicio.....	63
6.2 Sobre la aplicación de la metodología	64
6.3 Recomendaciones	66
Referencias Bibliográficas.....	68

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación ABC.....	3
Figura 2. Costo total de compra en función a la cantidad.	5
Figura 3. Modelo de pedido de cantidad fija.....	6
Figura 4. Modelo interno de pedido de intervalo fijo.....	7
Figura 5. Comparación problema de corte con problema de empaquetamiento.	12
Figura 6. Composición de la cadena de suministros.	27
Figura 7. Tipos de operadores logísticos.	29
Figura 8. Modelos de operación considerando la rotación de inventario y la complejidad en la preparación.....	34
Figura 9. Macroproceso de servicio de abastecimiento a tiendas de conveniencia.	35
Figura 10. Cadena de valor asociada al servicio de abastecimiento de tienda de conveniencia.	35
Figura 11. Gráfico ilustrativo del paquete de servicio.	36
Figura 12. Etapas para la captación de un cliente.....	37
Figura 13. Jabas de PVC utilizadas para el despacho.	41
Figura 14. Gráfica de Pareto sobre incidentes en los servicios logísticos.	43
Figura 15. Diagrama causa efecto del incumplimiento de entregas.	47
Figura 16. Metodología para segmentar la cantidad de nodos a procesar.....	53
Figura 17. Nodos que abastecer por latitud (eje horizontal) y longitud (eje vertical).....	54
Figura 18. Nodos que abastecer depurados.	55
Figura 19. Agrupación por K-means. En rojo los centroides y cada coloración de nodos representa un clúster diferente. Elaboración propia usando Python.	55
Figura 20. Agrupación por K-means. En rojo los centroides y cada coloración de nodos representa un clúster diferente.	56
Figura 21. Aplicabilidad de la metodología. Ideal cuadrante III.	65

Índice de tablas

Tabla 1. Distancias (Km) de cada uno de los nodos.	16
Tabla 2. Matriz de ahorros.....	16
Tabla 3. Iteraciones del algoritmo de ahorros.	17
Tabla 4: Índice de madurez de las cadenas de suministro en Perú. Fuente: Adaptación Salvador, Pablo (2021).....	28
Tabla 5: Principales operadores logísticos en el Perú. Fuente: Perú Top Publications. Año 2015.....	29
Tabla 6: Cantidad en miles de m2 en infraestructura a nivel internacional.	31
Tabla 7: Frecuencias de falla en los servicios logísticos ofrecidos.....	43
Tabla 8: Demanda según las agencias por abastecer.	48
Tabla 9. Principales familias y la cantidad promedio abastecida al mes.	49
Tabla 10. Distancias en kilómetros del primer bloque de nodos que compondría la red.	50
Tabla 11: Vehículos a considerar en la distribución. Solo F10 y F30 son propios.	53
Tabla 12: Centroides formados mediante el método K-means.....	57
Tabla 13: Configuración propuesta de abastecimiento de tiendas.	58
Tabla 14. Configuración de abastecimiento por vehículo propuesta.	60
Tabla 15. Configuración de abastecimiento por vehículo actual.	60
Tabla 16. Costo total por día asociado a la propuesta de abastecimiento según el modelo matemático desarrollado.....	61
Tabla 17. Costo total por día según la forma de abastecimiento actual a las estaciones de servicios.	61

Capítulo 1: Marco teórico

En el presente capítulo se detalla cada uno de los principales conceptos que se utilizará para el desarrollo de la presente tesis. El marco teórico se desarrolló con relación a la propuesta de optimización y se presenta en tres cuerpos: La logística, el empaquetamiento y el ruteo de vehículos.

1. Logística

La logística es una rama de la ingeniería que estudia el proceso de flujo de materiales a través de la cadena de suministros. La siguiente definición (Ballou, 2004) ilustra con más detalle el concepto en cuestión: “Logística es la parte del proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes”. La logística, entonces, cumple un rol fundamental en el almacenamiento y distribución de bienes, tales como los artículos de venta en una cadena de tiendas de conveniencia.

1.1 Funciones de la Logística

De acuerdo con (Arbones, 1999), la logística presenta cinco funciones básicas: planificación y control, programación, distribución, almacenes centrales y transporte.

- a) **Planificación y control:** esta función abarca actividades como planificación de los niveles de stock (materia prima o producto terminado); planificación de necesidades de almacén (situación geográfica, volumen o capacidad de almacén, etc.); control de facturación del transporte; costes logísticos y previsión y control de gestión.
- b) **Programación:** esta función comprende la programación de necesidades de fabricación de productos terminados, semielaborados y la compra de

materiales; así como la supervisión del control administrativo del stock de materia prima.

- c) **Distribución:** la distribución o depósitos abarca principalmente la gestión de stocks de productos terminados.
- d) **Almacenes centrales:** Lugar donde se puede encontrar actividades como recepción de materiales y suministros; custodia fiel de todo lo que se almacena, tanto en cantidad como en su buen estado; entre otras.
- e) **Transporte:** planificación de la red de transporte de materia prima y producto terminado; tarifario de transporte, coordinación de los distintos medios de transporte (transporte de materia prima y producto terminado, etc.
- f) **Facturación:** La logística no solo se encarga de gestionar el flujo de mercancías a lo largo de la cadena de suministros, sino también tiene un rol importante en asegurar el flujo de efectivo, visto como un bien que se traslada de forma inversa en los eslabones (no desde el punto de vista financiero).

1.2 Gestión de inventarios

Los inventarios representan para las empresas la oportunidad de hacerse más competitivos, en la medida que mejoran su gestión. “Existen diversos argumentos a favor y en contra de los inventarios como, por ejemplo, una buena gestión de inventarios permite mejorar el servicio al cliente y reducir costos” (Ballou, 2004).

Para lograr una eficiente gestión de inventarios es conveniente clasificar los stocks de acuerdo con el volumen relativo de ventas, los flujos de efectivo, el plazo de entrega o los costos de desabasto (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2017). Una forma de analizar y gestionar el inventario es mediante la Ley de

Pareto, también conocida como la clasificación ABC. La Ley de Pareto nos permite identificar tres puntos elementales:

- a) Artículos que concentran la mayor parte de los costos de inventario.
- b) Artículos de mayor consumo o movimiento.
- c) Artículos que ocupan mayor cantidad de espacio en almacenamiento.

La clasificación ABC identifica dichos artículos y permite establecer criterios de gestión apropiados para cada tipo de ítem, basados en los costos de inventario y demanda de producto.

En la figura 1 podemos apreciar el modelo de clasificación ABC. En este caso tenemos en el eje de las ordenadas el porcentaje acumulado del valor anual de uso y en el de las abscisas el porcentaje acumulado de ítems.

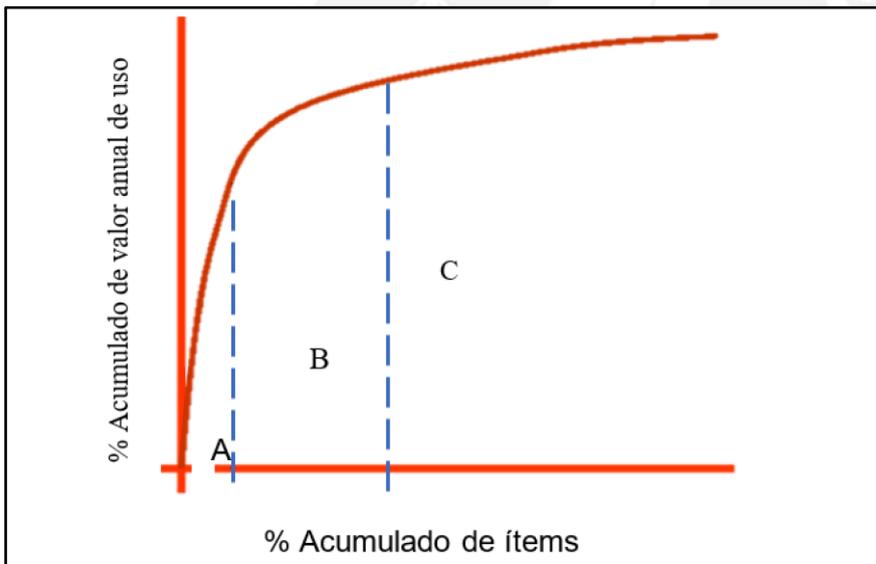


Figura 1. Clasificación ABC.
Elaboración propia

1.3 Sistemas de aprovisionamiento

Ballou (Ballou, 2004), señala la importancia del manejo de inventarios aludiendo que implica equilibrar la disponibilidad de producto o servicio al cliente con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto.

Para ello se utilizan distintas metodologías en la renovación de inventarios. Lo relevante respecto de la renovación de sistema de inventarios según (Carreño Solís, 2018) es:

En primer lugar, se debe de definir y explicar lo que es el lote económico de compra o también conocido como el EOQ (abreviación en inglés de *Economic Order Quantity*). Esta es la cantidad económica de pedido, lo cual se relaciona con la renovación de stocks para productos con demanda independiente.

El sistema de renovación del lote económico de compra se aplica en ciertas limitaciones de escenarios que se caracterizan por que cumplen con las siguientes premisas:

- La demanda y el tiempo de entrega del proveedor son conocidos y constantes.
- No existen descuentos por volúmenes de compra por parte del proveedor.
- La entrega es del lote completo de productos pedidos (q), no existen entregas parciales.

Por ende, si se cumplen dichas premisas, será factible utilizar la teoría del EOQ para determinar la cantidad a comprar y el mejor momento de la compra, minimizando los costos de ordenar y los costos de posesión de inventarios. La siguiente fórmula muestra los principales costos asociados a la logística del producto:

$$CTC = CP + CO + CPI = C * D + \frac{D}{q} * A + i + C * \frac{q}{2}$$

Donde:

CTC: costo total de comprar

CP: costo del producto

CO: costo de ordenar

CPI: costo de posesión de inventarios

D: demanda total anual

A: costo de emisión de las órdenes de compra

i : costo anual de posesión de inventarios

C: costo unitario del producto
q: cantidad pedida

En la figura 2 se muestra el costo total de compra en función a la cantidad total de unidades. Cabe resaltar que la curva costo total tiene un mínimo absoluto, el que se obtiene en la intersección entre la curva de costo de almacenamiento y la del costo de compra, la cantidad a pedir en ese punto es el lote económico de compra (q^*).

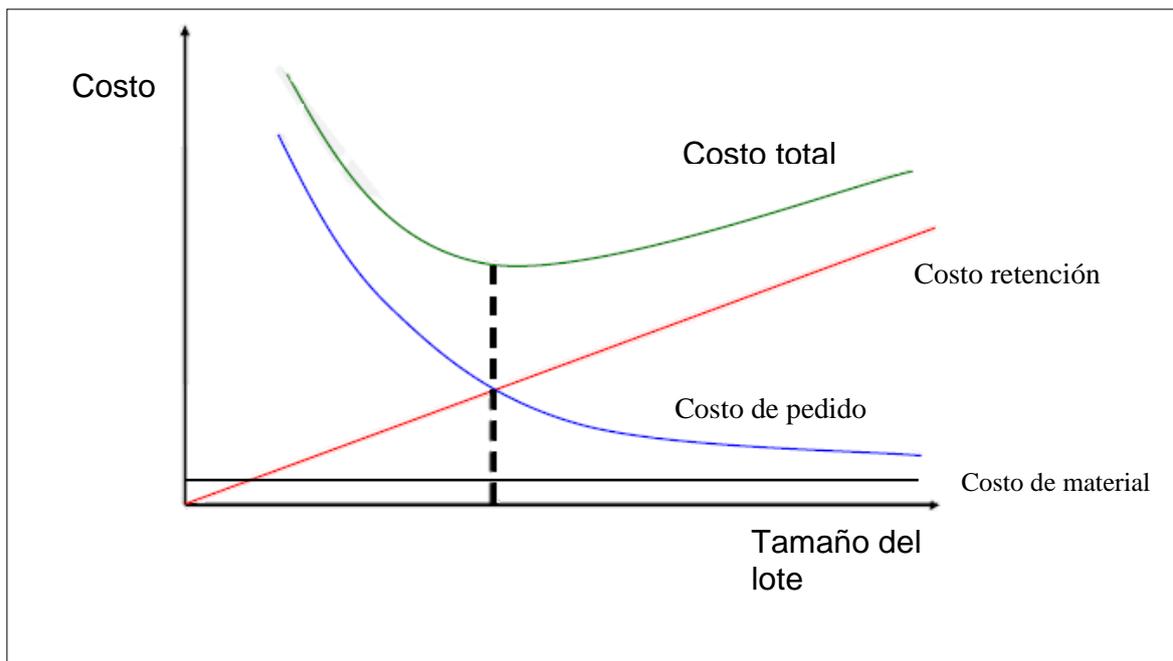


Figura 2. Costo total de compra en función a la cantidad.
Fuente: (Chopra & Meindl, 2013)

1.3.1 Modelo de pedido de cantidad fija en condiciones de incertidumbre

En este modelo, todas las suposiciones del modelo EOQ siguen siendo válidas, excepto que la demanda no es conocida ni constante; por el contrario, se asume que es aleatoria y tiene características de una distribución normal con media μ y desviación estándar conocida. Aquello se acerca a situaciones prácticas del día a día.

El sistema de pedido de cantidad fija consiste en revisar continuamente o después de cada transacción la posición de las existencias. Es decir, cuando el nivel de inventarios cae por debajo de un punto de reorden, previamente determinado, se coloca una orden por una cantidad fija (lote económico de compra). En otras palabras, se realiza pedidos en cantidades constantes y equivalentes al lote económico de compra. El tiempo que transcurre entre las reposiciones es variable y dependerá de la demanda.

En la figura 3 se esboza la manera cómo funciona este modelo. Se puede apreciar que el punto de pedido es constante y las cantidades a pedir son equivalentes al lote económico de compra.

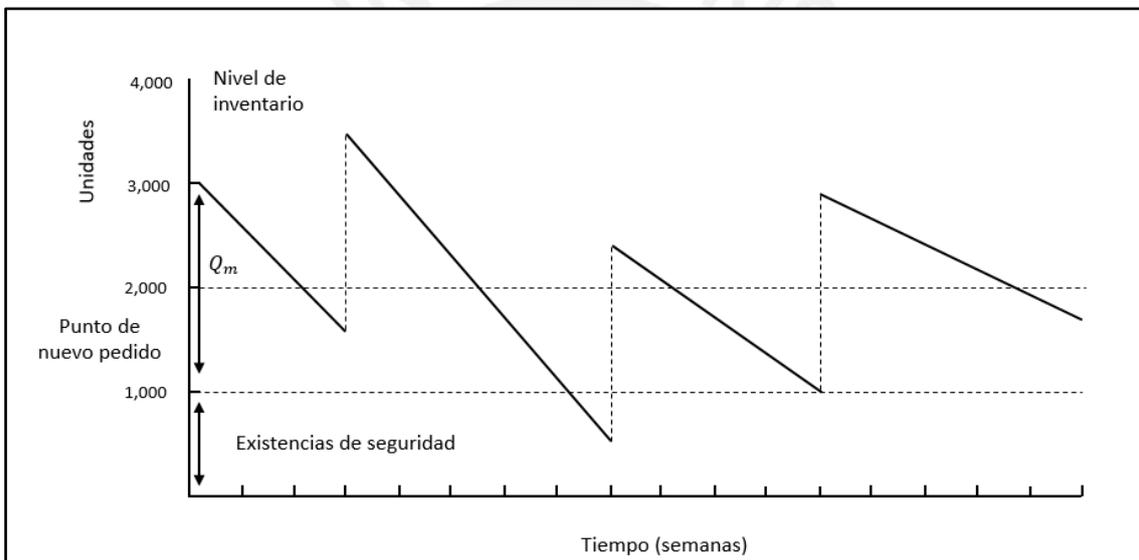


Figura 3. Modelo de pedido de cantidad fija.
Fuente: (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2017)

Existe otro sistema de revisión de inventarios, el cual se denomina sistema de revisión periódica o modelo interno de pedido fijo.

1.3.2 Modelo interno de pedido fijo (con existencias de seguridad)

Este modelo se caracteriza por realizar una revisión periódica de los niveles de inventario, todas las suposiciones del modelo EOQ siguen siendo válidas, excepto la demanda constante y la no existencia de roturas de stocks.

Se realizan pedidos en periodos constantes y cantidades diferentes que permitan mantener un nivel máximo (stock objetivo) que cubra el tiempo entre revisiones. Estos sistemas son la base de la gestión de aprovisionamiento, sin embargo, en la realidad se suelen encontrar sistemas mixtos que depende de la política y naturaleza de los inventarios.

En la figura 4 podemos apreciar el comportamiento del sistema de revisión periódica. En este caso el plazo de reaprovisionamiento es conocido también como tiempo de espera (lead time). Las cantidades por pedir vendrían a ser la diferencia entre el stock objetivo y el nivel de stock al instante de pedir, considerando el tiempo entre pedidos.

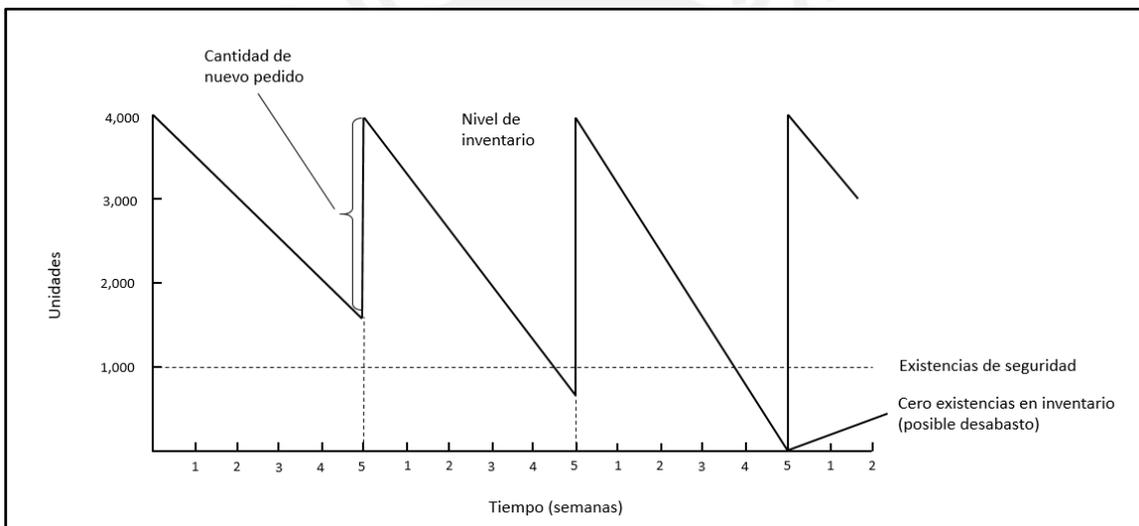


Figura 4. Modelo interno de pedido de intervalo fijo.
Fuente: (Coyle, Langley, Novack, & Gibson, 2017)

1.4 Costos de Inventarios

Mantener inventarios en almacén o en movimiento representa un costo indirecto en la facturación de un bien. Ballou en su libro nos menciona que los costos pertinentes para la gestión de inventarios son (Ballou, 2004):

- a) **Costo de posición de inventarios:** Representa los costos en los que se incurren al mantener inventarios en stock.

$$C_{pinv} = \text{Inventario promedio} * \text{Costo unitario del inventario} * \text{Tasa}(i)$$

- d) **Costo por falta de existencias:** Son los costos en los que se incurren cuando se coloca un pedido, pero este no puede concretarse desde el inventario asignado. Dentro de esta categoría comúnmente encontramos costo por pérdida de venta y costo de pedido pendiente. Su cuantificación depende de distintos factores como la penalidad, el costo de oportunidad, la pérdida del producto, la pérdida del cliente, entre otros. El costo por pérdida de ventas ocurre cuando el cliente, ante una situación de falta de existencias decide cancelar su requisición del producto. En cambio, el costo de pedido pendiente ocurre cuando un cliente espera a que su pedido sea surtido, por lo que la venta no está perdida, solo retrasada.

En algunos casos, como veremos en el capítulo 3, se omite la presencia de estos costos y al momento de tomar decisiones se podría tergiversar la opción que sea más adecuada.

1.5 Indicadores Logísticos

Los indicadores son herramientas utilizadas para medir el desempeño del algún sistema o situación. En un sistema de control deben ser utilizados tanto para describir la realidad como para identificar los objetivos deseados al cabo de un plazo determinado (Carreño Solís, 2018). Esta referencia nos habla también de los objetivos que se pretenden alcanzar definiendo indicadores que permitan describir la situación actual y formular una situación deseada, es decir, metas. A continuación se mostrarán indicadores comunes en logística:

1.5.1 Indicador de Rotación de Inventario

Señala el número de veces que las diferentes clases de inventarios rotan durante un período de tiempo determinado; es decir, indica el número de veces en que dichos inventarios se convierten en efectivo o cuentas por cobrar. Este indicador de importancia para determinar la ubicación en un almacén o para clasificar los productos.

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Ventas anuales a costo de inventario}}{\text{Inversión promedio de inventarios}} \dots\dots\dots (1)$$

1.5.2 Indicador de disponibilidad de inventarios

Este indicador refleja la proporción de las cantidades de pedidos despachados entre la cantidad total de pedidos recibidos. Ello puede tener relevancia en el momento en que se reciban una gran cantidad de pedidos, incluso cuando no se pueda atender a todos por falta de stock disponible.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Unidades vendidas del stock actual}}{\text{Total de unidades pedidas}} \dots\dots\dots (2)$$

1.5.3 Indicador de Costo por punto de entrega

Se obtiene al dividir el costo total incurrido entre los puntos de entrega. Este indicador ayuda a establecer el tamaño mínimo de pedido, que debe ser aquel cuyo margen sea mayor a los costos de entrega.

$$\text{Costo por punto de entrega} = \frac{\text{Costos totales}}{\text{Puntos de entrega}} \dots\dots\dots (3)$$

1.5.4 Indicador de tamaño promedio del pedido

Este indicador representa la proporción que existe entre el total de kilogramos o toneladas entregadas entre el número total de pedidos recibidos. Se puede deducir de este resultado que, a mayor tamaño de pedido, existe una relación importante y clave en el proceso de pedido, entre la entidad quien pide y la entidad quien le provee de lo que requiere.

$$\text{Tamaño promedio del pedido} = \frac{\text{Total entregado en físico}}{\text{Número de pedidos}} \dots\dots\dots (4)$$

También existen otros indicadores de gestión logística. Los indicadores se desarrollan de acuerdo necesidad de controlar el camino hacia los objetivos, así estos pueden variar o crearse partiendo de una necesidad de control.

2. Empaquetamiento

En la programación lineal se han desarrollado diversos modelos que han sido aplicados en las diversas áreas funcionales de las empresas. Una de estas áreas es logística, donde se han modelado problemas de programación lineal relacionados al empaquetado de productos. Así, tenemos el caso del problema de empaquetamiento.

En este acápite se describirá el problema del empaquetamiento y los principales métodos que se utilizan para su tratamiento. Su aplicación se basa directamente en la cantidad de espacio no utilizado al momento de realizar la preparación de empaques en un depósito.

El problema del empaquetamiento nace de una variante del problema de corte, así lo muestra (Kantorovich, 1960) donde parte del desarrollo del problema del corte de una dimensión para el uso económico de material.

2.1 El problema de empaquetamiento y el problema de corte

Existe una dualidad entre el problema de empaquetamiento y el problema de corte, ya que en ambos se busca reducir el desperdicio sobrante y/o el espacio no utilizado. En la figura 5, mientras que en el primer caso la sección gris puede tratarse del sobrante de cuero luego de cortar secciones de pieza; en el segundo caso se busca colocar las piezas reduciendo el espacio sobrante al mínimo posible. (Golden, 1976) señala que existe una fuerte dualidad entre el material y espacio resultante; por lo tanto, los métodos de resolución son aplicables a ambos problemas.

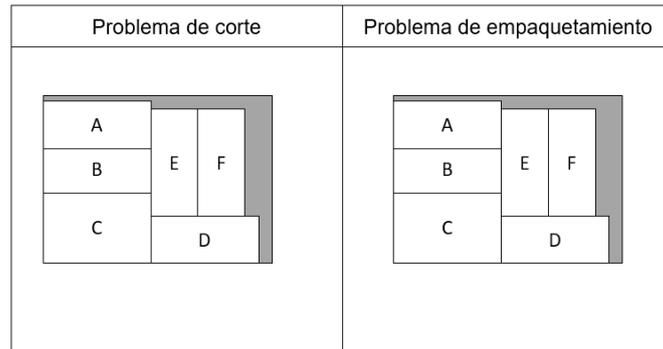


Figura 5. Comparación problema de corte con problema de empaquetamiento.
Elaboración propia

2.2 Clasificación del problema de empaquetado

(Delgadillo, 2007) señala que el problema de corte puede ser clasificar por el objetivo que persigue:

- Problema de selección o agrupamiento (*assortment problem*): En el cual busca determinar un subconjunto que satisfaga la demanda.
- Problema de desperdicio por corte (*trim-loss problem*): donde busca minimizar las pérdidas o desperdicios.

Según el número de piezas producidas:

- Problema de corte restringido (*constrained cutting stock problem*): donde el número de piezas de un determinado tipo es limitado.
- Problema de corte no restringido (*unconstrained cutting stock problem*): donde no existe un límite superior del número de piezas producidas.

2.3 Formulación de un modelo de corte

Para la formulación básica de un modelo de corte tomaremos como referencia el modelo planteado por (Gilmore & Gomory, 1961), donde se tiene un stock de barras de tamaño L que debe ser cortada en piezas de tamaño l_i para atender las demandas N_i , $i=1, \dots, m$ de las l_i piezas. Sea x_j el número de veces que se utiliza el j -ésimo patrón de corte. Además, se tiene una matriz A tiene m filas y un gran número de filas por cada patrón de corte, de este modo cada vector $(a_1,$

a_2, \dots, a_m) de enteros no negativos que satisfacen $l_1a_1 + l_2a_2 + \dots + l_ma_m \leq L$ es una columna de la matriz.

Entonces, se tiene (PC1D):

$$\text{Min } \sum_j x_j$$

$$\text{s. a. } \sum_j a_{ij}x_j \geq N_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0$$

Adicionalmente, (Gilmore & Gomory, 1961) también comenta que si las restricciones son de igualdad el problema de corte es menos general, pero permite una solución más rápida por la menor cantidad de restricciones que genera. Sin embargo, matemáticamente, no hay garantía de encontrar una solución.

3. Problema de ruteo de vehículos (VRP)

El problema del ruteo de vehículos es extensamente revisado desde sus inicios con (Dantzig & Ramser, 1959) donde muestra la programación para resolver un modelo de programación de tractores. Con el problema de ruteo de vehículos, en adelante denominado VRP (por sus siglas en inglés, *Vehicle Routing Problem*) se busca optimizar los recorridos mínimos, al igual que el costo mínimo de distribución, desde los depósitos desde donde salen los productos hacia los puntos asignados de distribución o también llamados clientes que son visitados una sola vez. Los vehículos al finalizar la ruta designada retornan a los depósitos de origen.

El problema del ruteo de vehículo puede resolverse de dos maneras. La primera es utilizando un método exacto que puede ser mediante un modelo de programación lineal, que permita establecer cuál es la ruta mínima que recorra todos los nodos y regrese al origen, o mediante un algoritmo exacto como lo

hicieron Dantzig *et. al.* (Dantzig, Fulkerson, & Johnson, 1954) , con el uso de planos cortantes.

Por otro lado, también se puede usar una aproximación hacia la solución mediante una heurística, tal y como se mostró con el algoritmo del ahorro (Clarke & Wright, 1964), para resolver el problema de los tractores formulados por (Dantzig & Ramser, 1959) .

3.1 Formulación para el método exacto

Para la formulación del VRP, se tomará el caso de un grafo no dirigido, con vehículos de capacidad K y considerando una restricción que elimina la formación de posibles circuitos cerrados¹. El modelo entonces quedaría de la siguiente manera (Toth & Danielle, 2002):

- Función objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

- Restricciones:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = K \quad (5)$$

$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S) \quad \begin{array}{l} \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, \\ S \neq \emptyset \end{array} \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad (7)$$

¹ Circuitos cerrados: En una red de grafos, para completar una ruta que parta desde un centro de distribución, se busca que no se formen caminos aislados. Estos caminos son conocidos como circuitos cerrados, ya que no permiten que se concrete la ruta de distribución desde el nodo central.

Además:

C_{ij} es el costo entre dos puntos, o de cada arco, (i, j) y X_{ij} es una variable binaria que indica cuando el arco (i, j) es empleado con valor 1 y con valor 0 cuando no es empleado.

En (1) se tiene la función objetivo que es la sumatoria de los costos mínimos de los arcos en el ruteo óptimo. Las restricciones (2) y (3) indican que solo un vehículo atenderá un cliente y que ese vehículo al finalizar la atención continuará su ruta asignada. Las restricciones (4) y (5) se refieren a que el número de vehículos que dejan el depósito de productos debe ser el mismo que el que retorna al finalizar sus recorridos. La restricción (6) se refiere a un sub conjunto S incluido en el conjunto mayor de nodos V , cuya suma de arcos entrantes debe ser al menos la cota inferior de vehículos necesarios para satisfacer la demanda de ese sub conjunto $r(S)$. Por último, la restricción (7) es el rango de existencia de la variable x_{ij} que lo define como un modelo binario.

3.2 Aproximación por el uso de heurísticas

Dentro de las heurísticas que se utilizan para obtener resultado aproximado al óptimo, si es no es realmente el óptimo, podemos encontrar el Algoritmo de Karg & Thompson, Gillett & Miller, el Método Húngaro y el Algoritmo de Clarke & Wright. Este último (Clarke & Wright, 1964), consiste en hallar una matriz con las distancias más cortas y luego ir calculando los ahorros que se generarían por unir puntos.

Se define:

C_{0j} = Costo de hacer un viaje desde el depósito hasta un cliente j .

C_{ij} = Costo de hacer un viaje desde el cliente i hasta el cliente j .

Se calculan los ahorros $S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij}$, y se colocan en una matriz de ahorros. Por último, se agregan los valores en las celdas para un indicador T , que las va almacenando por cada iteración.

A continuación, se mostrará un caso aplicativo referencial. Sea la tabla 1 la matriz de distancias, donde 0 es el nodo central y el resto de los nodos son los puntos para visitar:

Tabla 1. Distancias (Km) de cada uno de los nodos.

	0	1	2	3	4	5
0	0	3	3	14	11.5	15
1		0	6	13	10.5	14
2			0	11	9.5	12
3				0	4.5	7
4					0	3.5
5						0

Una vez identificadas las distancias entre cada uno de los nodos, se calcula la matriz de ahorros, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Matriz de ahorros

	1	2	3	4	5
1	0	0	4	4	4
2		0	6	5	6
3			0	21	22
4				0	23
5					0

Luego se juntan las rutas que tendrían que representar un mayor ahorro y se lleva la cuenta en otra matriz T, donde se acumulan los cambios que se van realizando tal como se muestra en la tabla 3.

En este ejemplo referencial se pudo obtener una ruta con una distancia mínima de 38 km. Los resultados por el algoritmo del ahorro tienden a estar muy cerca de la solución óptima, si es que no son parte de la misma, y resultan muy útiles cuando la cantidad de nodos generaría muchas restricciones de eliminación de circuitos cerrados.

Tabla 3. Iteraciones del algoritmo de ahorros.

Iteración 1

Ruta	distancia
0-1-0	6
0-2-0	6
0-3-0	28
0-4-0	23
0-5-0	30
Total	93

Iteración 2

Ruta	distancia
0-1-0	6
0-2-0	6
0-3-0	28
0-4-5-0	30
Total	70

Iteración 3

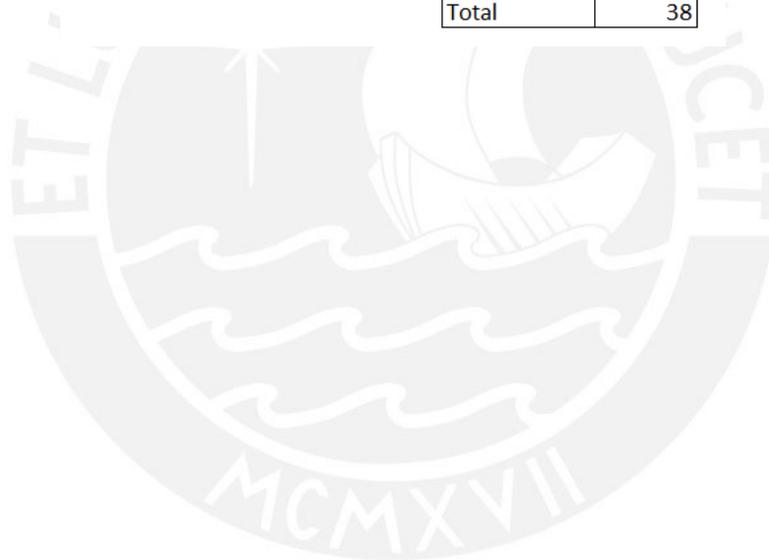
Ruta	distancia
0-1-0	6
0-2-0	6
0-4-5-3-0	36
Total	48

Iteración 4

Ruta	distancia
0-1-0	6
0-4-5-3-2-0	36
Total	42

Iteración 5

Ruta	distancia
0-1-4-5-3-2-0	38
Total	38



Capítulo 2: Estudio de casos

Caso 1: Incremento de la eficiencia de costos en preparación de pedidos web usando cajas de recepción compartidas.

Autores: (Punakivi & Tanskanen, 2002)

Este artículo se enfoca en buscar que los costos de envío y abastecimiento para bodegas y atención de servicios de última milla. Los autores realizan una revisión del impacto que ha tenido en los últimos años la influencia del comercio electrónico, particularmente entre el 1999 y 2000. La data que toman como referencia corresponde a los puntos de venta de cinco cadenas de tiendas de comestibles en Finlandia.

El área cubierta para el estudio de pedidos de entregas comprende 135 m² y contiene una cantidad de 202 mil habitantes. Considerando el número de entregas que oscilan entre 20 hasta 720, un máximo de 40 pedidos por vehículo, un límite de 11 horas por día y un máximo de cinco horas por ruta. Los costos contemplados fueron 26 euros por hora y un tiempo de carga/descarga de 20 minutos por ruta y 2 minutos por recojo/entrega a cada cliente. Finalmente, diferencia los casos de entrega en cuatro categorías:

1. Recepciones atendidas con dos horas de ventana de tiempo para la entrega: La entrega se realiza de 8am a 10pm. La ubicación de los clientes está basada en la data de sus registros anteriores.
2. Recepción por cajas: Ventana horaria de entrega de 8am a 4pm. La ubicación de los clientes está basada en la data de sus registros anteriores. El número de ordenes por día varía de 20 a 720 pedidos.
3. Entrega por caja, con recojo de empaque en la próxima entrega o con recojo al día siguiente: Ventana horaria de entrega de 8am a 4pm. La

ubicación de los clientes está basada en la data de sus registros anteriores. El número de ordenes por día varía de 20 a 720 pedidos.

4. Recepción por caja compartida: Ventana horaria de entrega de 8am a 4pm (de preferencia la final de la jornada laboral). Las zonas fueron agrupadas de 5, 10, 20 y 30 locaciones para la recepción de cajas compartidas. La capacidad de las cajas compartidas varía de 8, 16, 24 y hasta 32 clientes compartidos. El porcentaje de utilización de las cajas es de 50% a 75%. El número de ordenes por día varía de 20 a 720 pedidos.

Así mismo, el artículo también muestra cómo se reducen los costos para el caso de recepción por caja compartida en la medida que aumenta la cantidad de capacidad. A continuación, se presentan los dos casos más ineficientes y los dos más eficientes de usar cajas compartidas:

- Empaque de capacidad 8, con utilización del 75% y pedidos entre 30 y 180 tiene un costo promedio de 2 euros por orden.
- Empaque de capacidad 8, con utilización de 50% y pedidos entre 20 y 120, tiene un costo promedio de 2.5 euros por orden.
- Empaque de capacidad 32, con utilización de 75% y pedidos entre 120 y 720, tiene un costo promedio de 1.45 euros por orden.
- Empaque de capacidad 32, con utilización de 50% y pedidos entre 80 y 480, tiene un costo promedio de 1.55 euros por orden.

El resultado de este artículo es un comparativo entre el rango del costo de abastecimiento regular y un abastecimiento compartido, el cual muestra que la recepción de una caja compartida tiene un menor costo operacional. La importancia de este artículo está en la oportunidad que ofrecer para las compañías el uso de cajas compartidas como un beneficio en el abastecimiento.

Caso 2: Problema de ruteo de vehículos con entregas divisibles y recojo.

Autores: (Niaz & Claudia, 2015)

Este artículo está enfocado plantear la formulación matemática para el problema de ruteo de vehículos con la entrega y el recojo divisibles, también conocido como VRPDDP (VRPDDP abreviación en inglés de *Vehicle Routing Problem with Divisible Deliveries and Pickups*) y compararlo con el problema de ruteo de vehículos con la entrega y el recojo en simultaneo o modelo VRPSDP (abreviación en inglés de *Vehicle Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Pickups*). Resulta que el primero es una relajación del modelo matemático del segundo caso. Partiendo de esto realiza la formulación matemática del modelo VRPDDP y como referencia de unas primeras corridas utiliza la data de Christofides and Eilon (Christofides & Eilon, 1969), utiliza una modificación de la data de ese artículo académico para realizar la corrida del modelo. Para el experimento computacional elige un conjunto común propuesto por Salhi and Nagy (Salhi & Nagy, 1999), partiendo de esta data realiza una heurística para remodelar los resultados. Finalmente, realiza un análisis de los algoritmos utilizados para identificar las mejoras en cada uno de ellos y la efectividad VRPSDP vs VRPDDP, de esta manera ofrecer un mayor alcance sobre este modelo matemático.

En particular, es de interés analizar el modelo planteado en el desarrollo del caso, el cual tiene la siguiente estructura de modelación:

1. Variables de ingreso:

d_{ij} : Distancia entre locaciones i respecto a j .

q_i : La demanda del punto i (la demanda de entregas para $i \in L$ y la demanda de recojo para $i \in B$).

C : Capacidad del vehículo.

2. Variables de decisión:

X_{ij} : Variable binaria, donde es 1 si el vehículo viaja de i a j , 0 si no viaja.

R_{ij} : Cantidad de entregas de bienes en el arco ij .

P_{ij} : Cantidad de recojo de bienes en el arco ij .

Entonces el modelo tendría la siguiente forma:

3. Función objetivo:

$$\text{minimizar } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

4. Restricciones:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad j \in L \cup B \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ji} = 1 \quad j \in L \cup B \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} R_{ij} - q_j = \sum_{i \in V} R_{ji} \quad j \in L \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} R_{ij} = \sum_{i \in V} R_{ji} \quad j \in B \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} P_{ij} = \sum_{i \in V} P_{ji} \quad j \in L \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} P_{ij} + q_j = \sum_{i \in V} P_{ji} \quad j \in B \quad (7)$$

$$\sum_{i \in LUB} P_{0i} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in LUB} P_{i0} = 0 \quad (9)$$

$$R_{ij} + P_{ij} \leq Cx_{ij} \quad i \in V, j \in V \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in V, j \in V \quad (11)$$

$$R_{ij} \geq 0 \quad i \in V, j \in V \quad (12)$$

$$P_{ij} \geq 0 \quad i \in V, j \in V \quad (13)$$

Las restricciones (2) y (3) buscan que cada estación sea atendida solo una vez. Para eliminar los ciclos y para conservar el flujo, se formulan las restricciones del (4) al (7). Las restricciones (8) y (9) aseguran que empiecen su recorrido sin carga de recojo y que terminen su recorrido sin carga de entregas. La restricción (10) sirve para limitar la capacidad máxima. Las restricciones del (11) al (13), definen x como una variable binaria y aseguran que tanto el recojo como la entrega de mercadería sean mayores o iguales a cero en cada arco.

La importancia de este artículo académico es la utilidad de las restricciones (8), (9) y (10), pues permiten incluir la lógica de recojo y entrega en cada punto. Este mismo modelo de restricciones se utilizará posteriormente para el desarrollo de la presente tesis.

Caso 3: Problema de ruteo de vehículos con entregas separadas por días

Autores: (Bertoli, Kilby, & Urli, 2018)

Este artículo se enfoca en la variante del problema de ruteo de vehículos con entregas separadas o SDVRP (abreviación en inglés de *Split Delivery Vehicle Routing Problem*), el cual toma como referencia el problema de ruteo de vehículos con Capacidad Limitada o CVRP (abreviación en inglés de *Capacitated Vehicle Routing Problem*). Para la definición del modelo considera un horizonte Multi-Día de planificación. La parte interesante de este artículo es como los autores modelan los k ciclos divididos.

Los autores establecen dos propiedades fundamentales para el desarrollo de los ciclos en el modelo que propone. La primera establece que si la matriz de costo satisface el triángulo de desigualdad, entonces se tiene una solución óptima, para todo k . La segunda establece que, si el número de ciclos es al menos la mitad del número de rutas, entonces se tendrían soluciones óptimas no acotadas.

El modelo propuesto en particular tiene la siguiente estructura:

- Variables de decisión:

$$x_{ijk}^t = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } k \text{ viaja de } i \text{ a } j \text{ el día } t \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

- Función objetivo:

$$\text{minimizar } \sum_{t,i,j,k} x_{ijk}^t c_{ij} + F_b \quad (1)$$

- Restricciones:

$$\sum_{j \in \overline{P}_t} x_{ijk}^t = \sum_{j \in \overline{P}_t} x_{jik}^t \quad \forall i \in C, t \in T(i), k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \overline{P}_{t_i^s}} x_{ijk}^{t_i^s} \geq y_{ik}^s \quad \forall i \in C, s = 0, \dots, \alpha, k \in K \quad (3)$$

$$m_a \sum_{j \in \overline{P}_{t_i^s}} x_{ijk}^{t_i^s} \geq y_{ik}^s \quad \forall i \in C, s = 0, \dots, \alpha, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik}^0 \geq m_d \quad \forall i \in C \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{s=0}^{\alpha} y_{ik}^s = 1 \quad \forall i \in C \quad (6)$$

$$\sum_{j \in \overline{P}_t} x_{ijk}^t \leq 1 \quad \forall i \in C, k \in K, t \in T(i) \quad (7)$$

$$\sum_{s=0}^{\alpha} \sum_{i \in C_{t-s}} q_i y_{ik}^s \leq Q \quad \forall k \in K, t \in H \quad (8)$$

$$l_{ijk}^t \leq Q x_{ijk}^t \quad \forall (i, j) \in C \times C, t \in T(i), k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \overline{P}_t} x_{0jk}^t \leq F \quad \forall t \in H \quad (10)$$

$$\sum_{j \in \overline{P}_{t_i^s}} (l_{jik}^{t_i^s} - l_{ijk}^{t_i^s}) = q_i y_{ik}^s \quad \forall i \in C, s = 0, \dots, \alpha, k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{j \in \overline{P}_t} l_{0jk}^t = \sum_{s=0}^{\alpha} \sum_{i \in C_{t-s}} q_i y_{ik}^s \quad \forall k \in K, t \in H \quad (12)$$

$$F \leq K \quad (13)$$

$$F \geq 0 \quad \text{Variable entera} \quad (14)$$

$$x_{ijk}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in H \quad (15)$$

$$l_{ijk}^t \in [0, Q] \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in H \quad (16)$$

$$y_{ik}^s \in \quad \forall i \in C, k \in K, s = 0, \dots, s \quad (17)$$

Donde, las variables x e y se encuentran relacionadas por la restricción (3). Las restricciones (4) y (5) determinan el monto mínimo de solo entregas y de entregas el mismo día. La restricción (6) establece que la demanda total debe

ser entregada. Para limitar la cantidad de visitas por día para cada cliente por cada vehículo a uno, se utiliza la restricción (7). Las restricciones de capacidad son formuladas mediante (8) y (9). Las entregas diarias están asociadas a la variable F, en la restricción (10). Mientras que la capacidad de carga y las variables de decisión están relacionadas por las restricciones (11) y (12). Las restricciones (14-17) sirven para establecer el límite de soluciones e integridad de las variables.

Luego de la modelación matemática, se evalúa un método de solución y se propone una heurística para la solución inicial. Por último, se crean algunos ejemplos de nodos para verificar la efectividad del modelo. Los ejemplos contienen distintas locaciones, demandas y frecuencias.

Caso 4: Estudio general sobre el uso y relocalización de vehículos compartidos urbanos. Una aplicación para el caso de la ciudad de Concepción.

Autor: (Rojas Gonzáles, 2021).

Esta tesis se basa en el diseño de una red de estaciones virtuales para bicicletas compartidas flotantes. Esta red se constituye por nodos que representan estaciones de uso de bicicletas. Cuando se realiza el uso de estas bicicletas se genera un desbalance entre lo que se necesita y la cantidad disponibles de bicicletas en cada estación. Por ello, el autor utiliza un modelo matemático de recojo y entrega, en el cual busca mantener reubicar el excedente de bicicletas que se generan en una estación hacia las estaciones con déficit y mayor demanda. A continuación, se muestra el modelo matemático utilizado para la relocalización de bicicletas:

- Variables de decisión:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se realiza traslado por el arco } ij \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

- Función objetivo:

$$\text{minimizar } \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

- Restricciones:

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} q_j x_{ij} \leq Q x_{jj} \quad \forall j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in N \quad (5)$$

Como complemento del modelo matemático utilizado, el autor incluye la métrica de Desequilibrio y Reequilibrio (RIM), propuesta por Ban y Hyun (Ban & Hyun, 2019). Mediante esta métrica busca balancear la capacidad de las estaciones (Q) y la demanda que tiene cada estación (q_i). La estructura de esta restricción viene dada de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} 0, (D_i \geq R) \\ \left(1 - \left(\frac{D_i}{R}\right)^2\right) * B_i, (D_i < R) \end{array} \right. \quad (6)$$

Donde B es la varianza para el desbalance de bicicletas en cada nodo i; mientras que R corresponde a la distancia máxima sobre la cual se calcula el indicador RIM.

De forma similar sucede en la presente tesis donde el excedente de artículos de una tienda de conveniencia será transportado hacia otra para mejorar el balance de toda la red al igual que sucede con las bicicletas.

En la metodología utiliza el modelo del Problema de Reposicionamiento de Bicicletas (BRP, por sus siglas en inglés *Bicycle Repositioning Problem*), el cual es un caso particular del PDP. Sin embargo, para la ejecución del modelo, en sí, utiliza algoritmos basados en una búsqueda tabú iterativo con relajación

Lagrangiana. En el desarrollo, utiliza Python como lenguaje de programación para la heurística y Cplex Studio para la búsqueda del óptimo.

Finalmente concluye con el aporte que representa el modelo propuesto mixto de relocalización en el aumento sustancial en la cobertura de servicio y la reducción de gastos asociados a la relocalización de vehículos. Del mismo modo, el estudio de la presente tesis tiene como objetivo reducir el costo de abastecimiento a las tiendas de conveniencia, las cuales también tienen exceso de inventario en algunos puntos los cuales pueden relocalizarse en otros.



Capítulo 3: Descripción de la empresa

En este capítulo se desarrollarán algunos conceptos sobre el contexto logístico (los conceptos son del capítulo 2), qué servicios ofrecen las empresas en este sector, la importancia de subcontratar operaciones y algunas características que ofrece un operador logístico en este rubro de negocios.

3.1 El sector logístico en el Perú

El sector logístico en el Perú es el resultado de la interacción y composición de las compañías a través de las cadenas de suministros que constituyen. (Carreño Solís, 2018), muestra clara ilustración de qué eslabones componen por lo general la cadena de suministros (ver figura 6), donde señala tres componentes relevantes en cada eslabón: inventarios (Inv.), almacén (Alm.) y medios de transporte (M.T.).

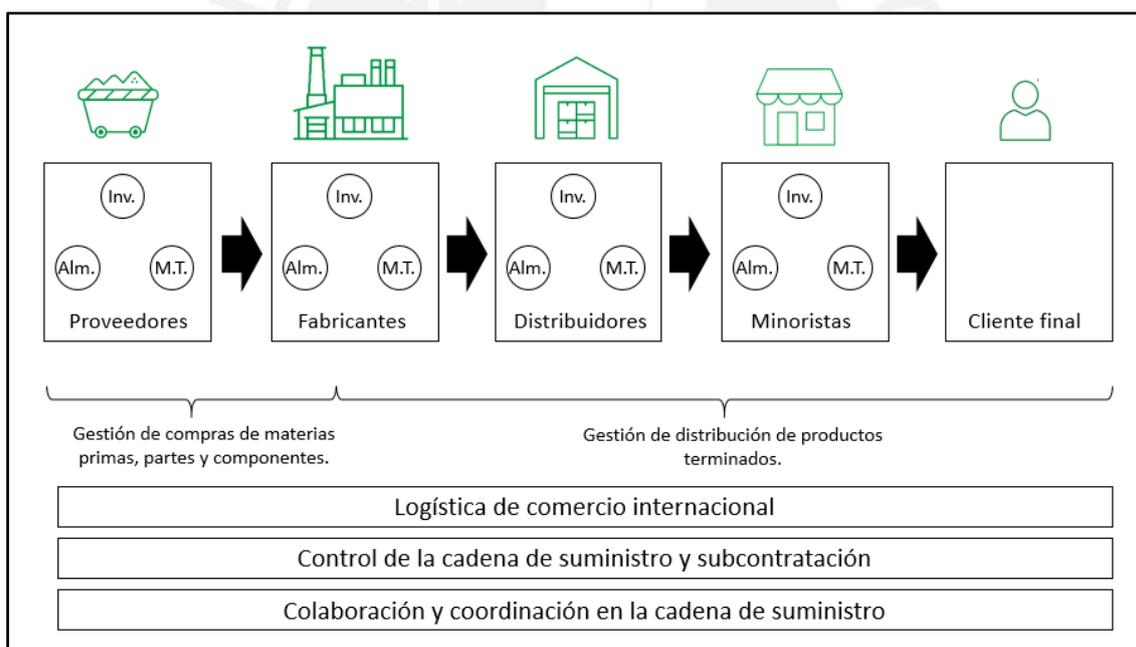


Figura 6. Composición de la cadena de suministros.
Adaptación (Carreño Solís, 2018)

En el Perú cada vez más compañías están fortaleciendo la estructura de sus cadenas de suministros. Así lo muestra Salvador (Salvador, 2021), en su reciente estudio "Supply Chain Overview", donde desarrolla un índice de madurez en la gestión de las cadenas de suministros (IMSC).

En la tabla 4 se muestra el estado al 2021 de las cadenas de suministro que constituyen el sector logístico del Perú.

Tabla 4: Índice de madurez de las cadenas de suministro en Perú. Fuente: Adaptación Salvador, Pablo (2021).

IMSC	Resultado 2021	Comentarios
Incipiente	12%	Procesos no estandarizados, nivel de servicio bajo, sin métodos adecuados de planificación y pronósticos.
En desarrollo	54%	Procesos orientados al cliente, planificación de la demanda con modelos estadísticos básicos, cumplimiento de servicio regular.
Establecido	30%	Procesos E3E implementados, colaboración en procesos clave de la cadena, KPI's definidos y monitoreados.
Avanzado	4%	Integración con proveedores y clientes, planificación de la demanda con modelos estadísticos, uso de tecnología.

Como se puede observar, las cadenas de suministro en el Perú, se encuentran en su mayoría en desarrollo; sin embargo, hay una considerable proporción con una cadena ya establecida. El IMSC permite, entonces, entender de forma global cuál es la situación actual del sector logístico en el Perú, en términos de las cadenas de suministro lo componen.

3.2 Rol de los operadores logísticos

Teniendo en cuenta lo señalado en la sección previa es importante identificar el rol de un operador logístico en la cadena de suministros. En la figura 7 se muestran los operadores logísticos (PL) divididos en 5 categorías, de acuerdo con (Cáceda, 2021) en cada categoría el grado en que se involucran estos operadores con el giro de negocio es mayor.

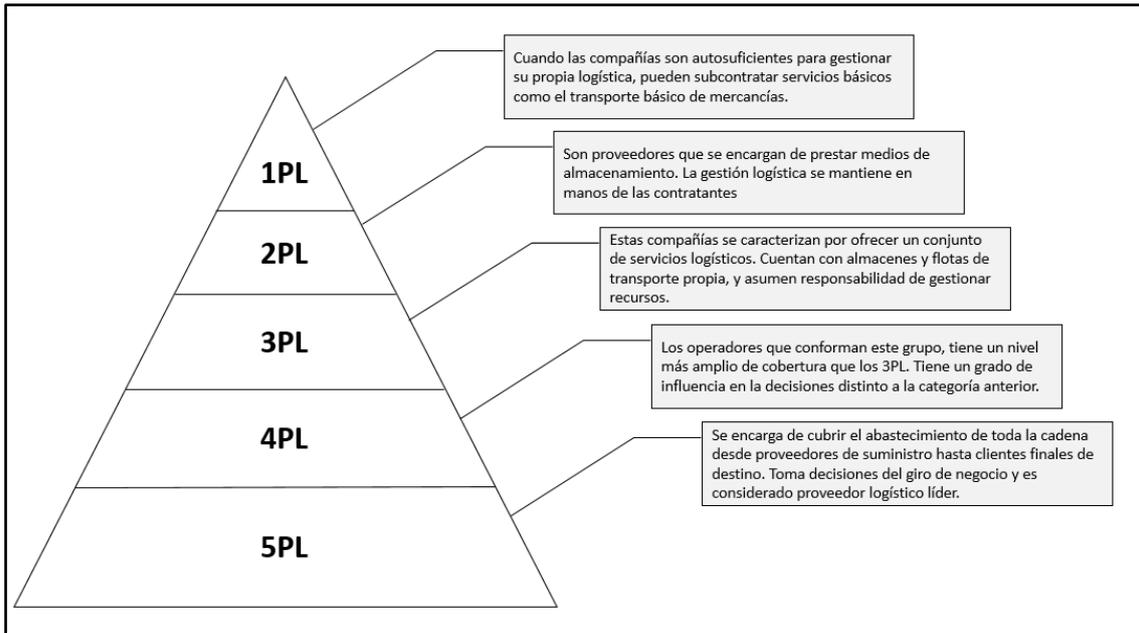


Figura 7. Tipos de operadores logísticos.
Fuente: Adaptación de Cáceda 2021.

La empresa que se tomó como referencia para el desarrollo ofrece servicios a distintas compañías y debido al alcance de los servicios que ofrece puede llegar a cumplir el rol de 3PL o 4PL. Para fines del grupo de servicios que se analizará en esta tesis se considerará como un 3PL. Por otro lado, Perú Top Publications pública la lista de las empresas más importantes, de las cuales los principales operadores logísticos figuran en la tabla 5:

Tabla 5: Principales operadores logísticos en el Perú. Fuente: Perú Top Publications. Año 2015.

Operador	Ventas (miles)	Comentario
RANSA	780,960	Fecha de creación 1939
NEPTUNIA	326,277	Fecha de creación 1980
DINET	125,735	Fecha de creación 1994

El rol de los operadores logísticos en las cadenas de suministros yace en el ahorro que representan para las compañías, al consolidar su demanda con la de otros clientes. (Carreño Solís, 2018) en particular, señala el ahorro en costo de almacenamiento por traslapes de estacionalidad, la mejora en la eficiencia del transporte (consolidando rutas de varios clientes), el intercambio de costos logísticos fijos, el uso de tecnologías de información articuladas con distintos

eslabones de la cadena y la oportunidad de las compañías de enfocarse netamente en el ámbito de su negocio dejando en manos de un experto la logística de sus mercancías. Por su parte Ballou (Ballou, 2004), señala que el rol de un operador logístico, desde la perspectiva de una compañía, se basa en dos factores: la importancia de la logística para el éxito de la compañía y la competencia de la compañía en el manejo de la logística. Estos dos factores son determinantes al evaluar la opción de subcontratar un operador logístico.

3.3 Descripción de la empresa

RANSA Comercial SA es una empresa que brinda servicios logísticos que abarcan el agenciamiento de aduana, el depósito temporal, el almacenaje regular, servicios de valor agregado y la distribución de la mercadería. Según la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU) se ubica en la sección H (transporte y almacenamiento), abarcando la división 49 (transporte por vía terrestre) y la división 52 (almacenamiento y actividades de apoyo al transporte). A continuación, se muestran los principales acontecimientos en su evolución:

- En 1931: Se funda bajo el nombre de Reprensa Algodonera y Almacén Nacional.
- En 1950: Se constituye la empresa Transportes Ransa, construye su primer almacén en el Callao y brinda el servicio de operador de carga nacional e internacional y terminal de almacenamiento.
- En 1974: Cambió su nombre a Ransa Comercial S.A. e incluyó servicios de almacenaje simple, depósito autorizado de Aduana y cámaras frigoríficas.
- En 1983: Consolida su participación en el mercado como logística refrigerada, brindando servicio de almacenamiento y procesamiento de productos refrigerados y congelados.
- En 1998: Inicia operaciones el CD de San Agustín con una capacidad de 24 mil metros cuadrados. Obtuvo la certificación ISO 9002:1994 para la unidad principal de almacenamiento.

- En 1999: Se certifica como 3PL, y certificación ISO 9002: 1994 para el resto de las unidades de terminal de almacenamiento.
- En 2003: Inicia sus operaciones en Bolivia (Santa Cruz y La Paz).
- En 2004: Inicia operaciones en Ecuador (Guayaquil y Quito).
- En 2005: Inicia operaciones en Guatemala y el Salvador.
- En 2007: RANSA amplió su cartera de servicios ingresando al sector agroindustrial, con la inauguración de la planta procesadora y de packing Torre Blanca.
- En 2008: Inicio de operaciones en Honduras.
- En 2013: Con la compra de Frigoríficos Colombianos (en Colombia) y DEPSA (en Perú), afianzó su liderazgo en el sector logístico.
- En 2016: Inicia operaciones el Servicio Logístico Automotriz SLA, en Lurín.
- En 2018: Inicia servicios de última milla en Guatemala.
- En 2020: Apertura operaciones de almacenaje en Lurín.

La compañía cuenta con más de 80 años de experiencia en el sector logístico con más de 7000 colaboradores en toda Latinoamérica. Adicionalmente, dispone de una infraestructura de más de 3.5 millones de m², y con más de 400 clientes. Su presencia internacional se muestra en la tabla 6:

Tabla 6: Cantidad en miles de m² en infraestructura a nivel internacional.

País	Cantidad en miles de m ²
Guatemala	46
Honduras	81
El Salvador	132
Colombia	100
Ecuador	141
Bolivia	28
Perú	3000

Elaboración propia

En los años que lleva operando RANSA, ha logrado consolidar su visión y misión de la siguiente manera:

Misión:

La misión de la empresa podría definirse como: “Brindar un servicio logístico seguro y fiable, que represente para sus clientes un incremento de valor, contribuyendo con el desarrollo comercial nacional”. Esta definición no es parte de la información que ofrece abiertamente RANSA, por ello se ha definido una opción de misión.

Visión:

RANSA define su visión de la siguiente manera: “Convertir la logística en una ventaja competitiva de la empresa en Latinoamérica” (RANSA, s.f.). Obtener de un servicio una ventaja competitiva es muy valorado al momento de elegir entre varios proveedores para tercerizar las operaciones logísticas.

3.3.1 Servicios ofrecidos

RANSA ofrece sus servicios de acuerdo a dos categorías: Soluciones por sector y servicios logísticos. En el primer caso segrega a sus clientes según la naturaleza de su mercadería, por ejemplo, las soluciones para productos refrigerados son un tanto diferentes de los productos de limpieza o de los artículos de minería. A continuación, se describirán los 4 principales sectores (según la segmentación de la compañía) a los que atienden:

- Ventas al por menor: Empresas dedicadas a la venta al consumidor final de diferentes categorías de productos.
- Bienes de consumo: Empresas dedicadas a la producción, compra y venta de productos de cuidado personal y del hogar, equipo y artículos de uso doméstico, industria gráfica, editorial y tabaco.
- Pesca: Empresas que se dedican a la crianza, extracción y proceso de productos hidrobiológicos para consumo humano directo o indirecto.
- Minería y Energía: Empresas mineras, de energía y cemento, ofreciendo soluciones integrales a sus procesos.

Por otro lado, según los servicios logísticos que ofrece encontramos las siguientes categorías:

- Almacenaje: Ofrece almacenes intemperie, techados, cámaras refrigeradas, Silos graneleros, entre otros.
- Distribución: Traslado de mercadería en modalidad secos, líquidos y refrigerados.
- Agenciamiento aduanero: Solución aduanera para operaciones de comercio exterior.
- Última milla: Transporte de mercancías hasta al consumidor final, programación y optimización de rutas en el abastecimiento.

Existen otros sectores a los que también se ofrecen servicios logísticos; sin embargo, el enfoque de la presente propuesta de mejora se centra en el sector de ventas al por menor y en la categoría de última milla.

3.3.2 Descripción del tipo de cliente

Dentro del sector de venta minorista, existen clientes con una distinción bastante marcada entre sus procesos, esto se debe particularmente al modelo de negocio que tienen y a nicho de mercado en que se enfocan. Existen varias formas de segmentar a los clientes según sus atributos: rotación de inventarios, complejidad en la preparación, valor de la mercadería, canales de atención, proporción de picking y extracción, entre otros. En particular, para los fines de estudio de la presente tesis, se segmentarán en función la rotación de inventarios y la complejidad de la preparación. La figura 8 muestra los modelos de operación según las características antes mencionadas.

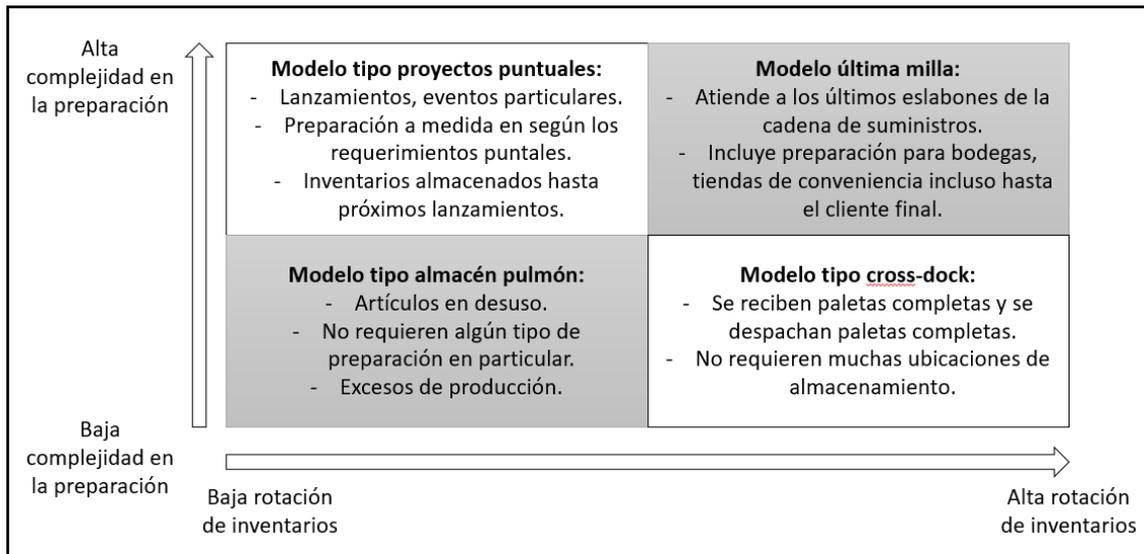


Figura 8. Modelos de operación considerando la rotación de inventario y la complejidad en la preparación.
Elaboración propia

El modelo de interés, última milla, se caracteriza por tener una alta rotación de inventarios y una alta complejidad en la preparación. Esto se debe a que los pedidos son atomizados por cada punto de entrega, además la rotación y el control sobre los inventarios es intensivo debido a la fecha de expiración de algunos productos a despachar. En esta categoría se encuentran las tiendas de conveniencia, en particular, aquellas que se ubican en las estaciones de grifos. En las siguientes secciones se detallará el proceso de abastecimiento para este modelo de operación.

3.4 Descripción de etapas del servicio

Cuando los clientes descritos en el acápite anterior contratan un 3PL como Ransa, están recibiendo una serie de servicios que podría, incluso, evaluarse cada uno de ellos por separado. En general, en esta sección se describirá el conjunto de servicios que se ofrece a cada cliente, desde la recepción de su mercadería, hasta la entrega a sus propios puntos de destino. Este conjunto de servicios cuenta con bastantes particularidades, desde la recepción de lotes con distintas fechas de vencimiento hasta el retorno de jabs vacías luego de las

entregas en cada punto de despacho. En la figura 9 se describe el macroproceso del servicio de abastecimiento:

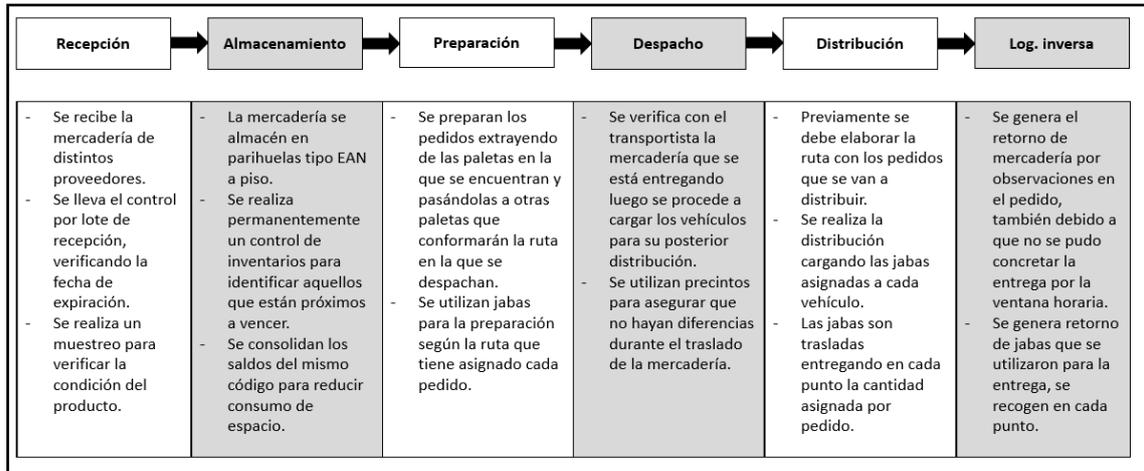


Figura 9. Macroproceso de servicio de abastecimiento a tiendas de conveniencia. Elaboración propia

Cadena de valor:

La cadena de valor asociada a los servicios de abastecimiento de tiendas de conveniencia se muestra en la figura 10.



Figura 10. Cadena de valor asociada al servicio de abastecimiento de tienda de conveniencia. Elaboración propia

Descripción del paquete de servicio:

En la figura 11 se presenta el paquete de servicios correspondiente al servicio de abastecimiento.

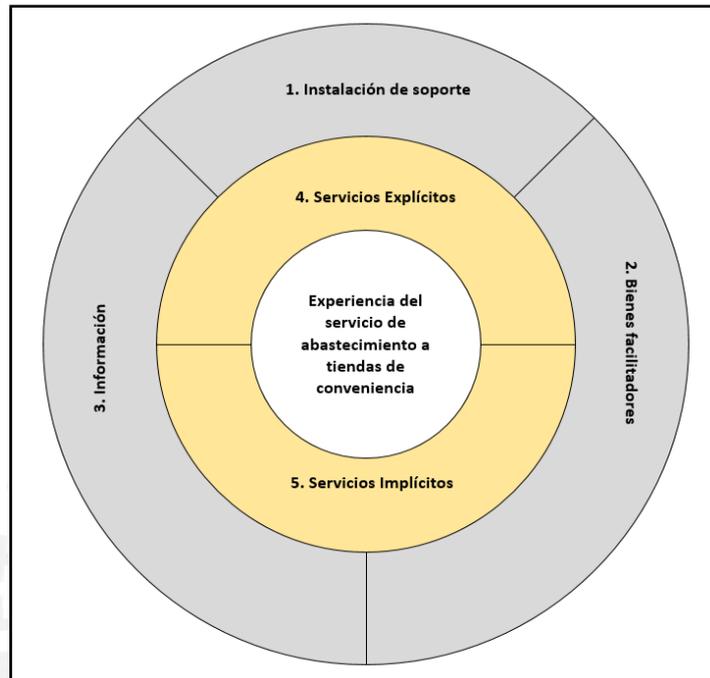


Figura 11. Gráfico ilustrativo del paquete de servicio.
Fuente: (Bordoloi & Fitzsimmons, 2018)

El paquete de servicios para el servicio de abastecimiento comprende cinco componentes que se describen a continuación.

1. Instalación de soporte: almacenes de material noble, zonas de parqueo para vehículos de distribución, rampas de recepción y despacho, balanzas de pesaje para las unidades de transporte.
2. Bienes facilitadores: Stretch film, etiquetas, lector de radiofrecuencias, rótulos, jabs de distribución, parihuelas, unidades de transporte, son los principales.
3. Información: registro de la ubicación de las tiendas de conveniencia a bastecer, rutas frecuentes de abastecimiento, soporte informático WMS

para una operación de Almacén, software de soporte en el control de la distribución, entre otros.

4. Servicios explícitos: compromiso de cumplimiento en el abastecimiento, exactitud de registro de inventarios, indicador de las entregas a tiempo, indicador de eficiencia en la operación, entre otros.
5. Servicios implícitos: tracking de las entregas, reportes complementarios a los indicadores, sinergias y propuestas de mejora en el rendimiento del servicio.

Etapas para la captación de un cliente

El proceso de captación de clientes comprende varias etapas. En esa sección se describirá brevemente estas etapas, puesto que muchos de los problemas mencionados en próximos capítulos se originan en estas etapas previas. En la figura 12 se muestran las etapas previas para la captación de un cliente y la ejecución de los servicios ofrecidos:

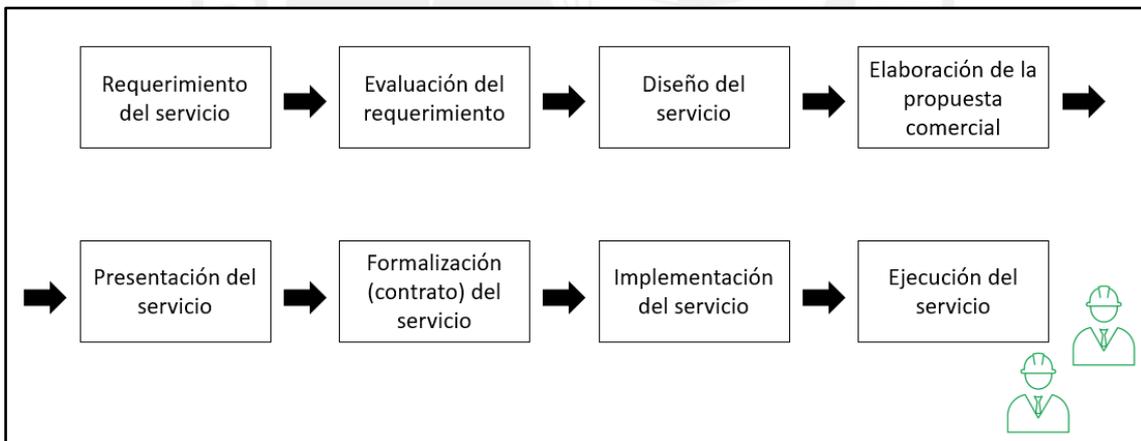


Figura 12. Etapas para la captación de un cliente.
Elaboración Propia

Requerimiento del servicio. Puede generarse por solicitud del cliente o por oferta de la empresa. Se especifica el alcance de los servicios, es decir qué eslabones de la cadena desea subcontratar, por ejemplo, almacenaje, distribución, agenciamiento aduanero, etc.

Evaluación del requerimiento. Se verifica si se está en la capacidad para poder cubrir la necesidad del servicio. La disponibilidad de espacio, la capacidad de flota, la disponibilidad de equipos, recursos, entre otros, son factores que se evalúan en esta etapa.

Diseño del servicio. Una vez que se establece el alcance del servicio y se verifica que se cuenta con los recursos para cubrir los requerimientos, se procede a realizar el diseño del servicio. Con el uso de productividades y demandas se calculan los recursos requeridos.

Elaboración de la propuesta comercial. Con los resultados del diseño de servicio, el área comercial elabora una propuesta con los términos económicos sobre cómo se facturarán los servicios, a qué condiciones estará sujeto y qué capacidades involucrará.

Presentación del servicio: Se presenta la propuesta comercial al cliente y se especifican los términos y condiciones del servicio. En esta etapa pueden presentarse ajustes según especificaciones adicionales por parte del cliente. También se definen los indicadores con los que se evaluará el desempeño del servicio.

Formalización del servicio. Una vez cerrada la negociación en la etapa anterior, se formaliza el servicio mediando un contrato que incluya el plazo de prestación del servicio, fecha de inicio de los servicios y las consideraciones establecidas en las etapas anteriores.

Implementación del servicio. Se establecen las fechas de pruebas y establecen las diferencias de los diseñado en comparación con los gastos reales que se incurren durante la implementación. Se miden y evalúan las desviaciones respecto a la propuesta comercial.

Ejecución del servicio. La etapa de ejecución del servicio se realiza durante el plazo del contrato, se realiza seguimiento a las variaciones para traducirlas en ajustes a la negociación inicial. Nuevos requerimientos pueden ir incorporándose durante la ejecución.

Cada una de las etapas señaladas corresponden a la parte previa de brindar el servicio. En estas etapas se analizará, posteriormente, algunas oportunidades de mejora que están relacionadas a la ejecución del servicio.

3.4.1 Planificación de abastecimiento desde almacén

El proceso de abastecimiento desde almacén parte de la recepción de la mercadería, luego se almacena en parihuelas a piso y, por último, se prepara la mercadería según las tiendas a las que se abastecerá. A continuación, se describirá con mayor detalle cada uno de estos pasos.

Recepción

Se reciben mercadería de hasta 11 proveedores, por un total de 600 artículos. La recepción se ejecuta en dos días de la semana, por lo general los jueves y viernes. Se verifica el estado de la mercadería recibida y se procede a almacenarla en parihuelas tipo EAN. La recepción se ejecuta en un solo turno durante la mañana.

Almacenaje

Se asigna una zona con capacidad para 720 parihuelas donde se almacenarán la mercadería en una sección lateral, mientras que la sección complementaria se utilizará para la preparación de mercadería.

Preparación y despacho

Se confirma la cantidad de tiendas (estaciones) que serán abastecidas y se configuran parihuelas según el volumen a abastecer en cada tienda. Se realiza la preparación, para ello se utilizan canastillas (jabas) para colocar las unidades

dentro, luego se etiqueta y se disponen la mercadería lista para cargar al vehículo. Los despachos por lo general deben ejecutarse lunes, martes y miércoles. La carga a los vehículos se realiza por la madrugada para que puedan salir a sus destinos en las primeras horas del día.

Para colocar la mercadería lista para el despacho, se debe contar previamente con las rutas que debe contener cada pedido. Esta información la proporciona el equipo de distribución. En la siguiente sección se detallará la planificación de la distribución.

3.4.2 Planificación de la distribución

La planificación de la distribución se realiza según las tiendas (estaciones) que el cliente confirma que se abastecerá y el volumen de pedidos a entregar por cada tienda. Se verifica la disponibilidad de unidades de transporte propias y en caso de no haber, se programa unidades de transporte de un tercero. Luego se coordina el acceso de las unidades de transporte para realizar la carga de mercadería desde el almacén.

Entregas para Lima. Para las entregas locales se utilizan jabsas las cuales sirven para empaquetar la mercadería que se despacha por unidades o *displays*. En la figura 13 se muestra las medidas y características de las jabsas que se utilizan.

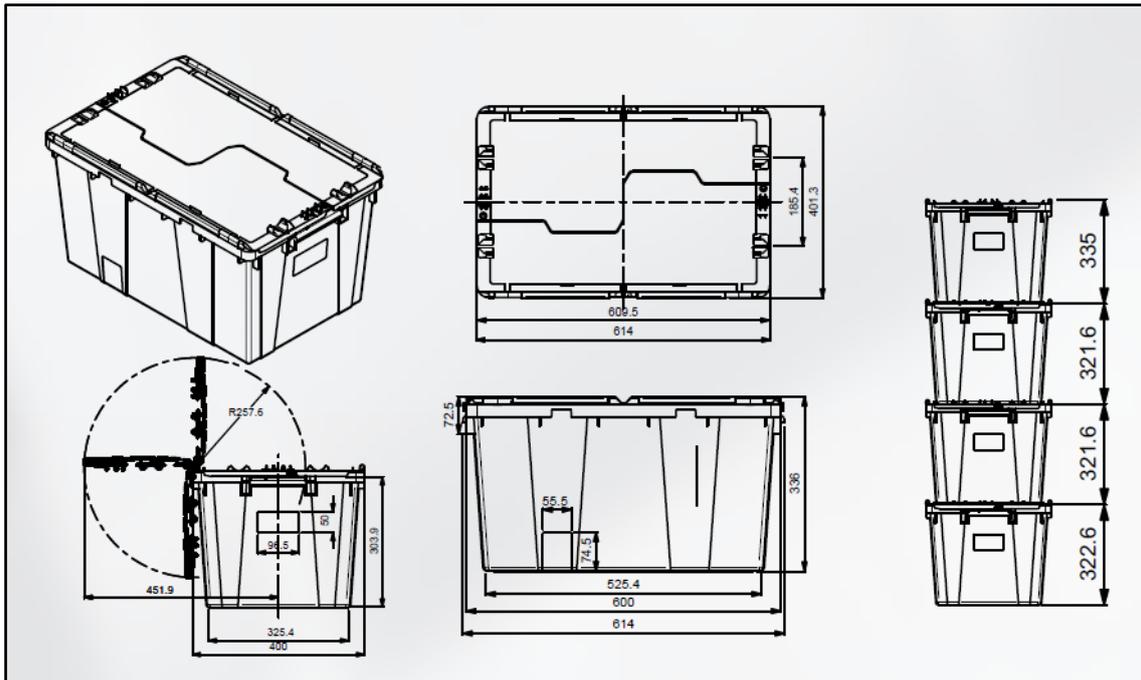


Figura 13. Jabas de PVC utilizadas para el despacho.
Fuente: Ransa.

Entregas a provincia: La mercadería se entrega en cajas master y en paletas. Como el retorno de las paletas desde provincias es complicado se utilizan paletas desechables, de un solo uso, las cuales son saldos de importación de otros clientes.

3.4.3 Logística inversa

La logística inversa involucra dos categorías relevantes: el recojo y las devoluciones. En ambos casos, hay un retorno de mercadería o materiales que no corresponden al servicio regular de recepción. En el siguiente párrafo se detallan sus principales diferencias.

Recojo. Cuando se traslada mercadería desde el punto de entrega hacia el almacén. Esta situación se genera por mercadería en exceso en el punto o por mercadería próxima a vencer. Por lo general se utiliza la misma unidad de transporte que se utiliza para la distribución.

Devoluciones. Cuando se intenta entregar mercadería, pero no se recibe en el punto de entrega. Por lo general, esto se debe a que la entrega no cumple con alguna condición o parámetro particular requerido por el punto de entrega.

En los casos en que se utiliza medios para transportar la mercadería, como jabs o parihuelas, estos materiales generan su propia logística inversa, la cual no necesariamente se transporta con el mismo vehículo que se realizó la distribución.

3.5 Diagnostico de la situación actual

Para el diagnóstico de la situación actual se evaluará el servicio logístico ofrecido al cliente descrito en la sección anterior. Para el desarrollo de esta sección se tomó en cuenta el ciclo Deming, descrito por Bordoloi (Bordoloi & Fitzsimmons, 2018). A su vez se tomará como referencia las herramientas para la evaluación de desempeño que nos comenta Krajewski (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2022).

3.5.1 Diagrama de Pareto

Para la elaboración de la gráfica de Pareto se consideraron tanto los servicios logísticos de almacenaje como los relacionados a la distribución de la mercadería. La siguiente lista se elaboró teniendo en cuenta aquellos problemas que mayor incidencia tienen y que a su vez mayor impacto en el nivel de servicio generan:

- **Cruce de códigos.** Se puede generar tanto en la recepción de la mercadería como en el despacho en el almacén. No se incluyen aquellos cruces que se generan en el punto de entrega, sino solo los que se dan dentro del almacén.
- **Capacidad de respuesta lenta.** Se refiere a la capacidad del almacén de procesar los pedidos de recepción y despacho.
- **Escasez de espacio.** Zonas del almacén mal distribuidas, cantidad de canales de recepción y despacho insuficientes.

- **Incumplimiento en las entregas.** Según el cronograma establecido por el cliente se deben abastecer las tiendas cada semana. Si el abastecimiento no se concreta en la semana establecida, se considera como incumplimiento.
- **Fletes de logística inversa.** Un bajo rendimiento en la eficiencia del abastecimiento generado por sobrecostos de fletes de logística inversa.

El siguiente paso para realizar el diagrama de Pareto es establecer las frecuencias de cada una de las problemáticas descritas anteriormente. Como los abastecimientos a las tiendas son evaluados semanalmente, se ha considerado establecer las frecuencias en función a las semanas del año. De este modo, alguno de los problemas descritos se presenta en una de las 52 semanas del año. En la tabla 7 se muestra las frecuencias de las principales problemáticas en los servicios logísticos ofrecidos al cliente en estudio y en la figura 14.

Tabla 7: Frecuencias de falla en los servicios logísticos ofrecidos.

Observaciones	Frecuencia
Cruce de códigos	4
Capacidad de respuesta lenta	7
Escasez de espacios	11
Incumplimiento en las entregas	42
Fletes de logística inversa	11
Total	75

Elaboración propia

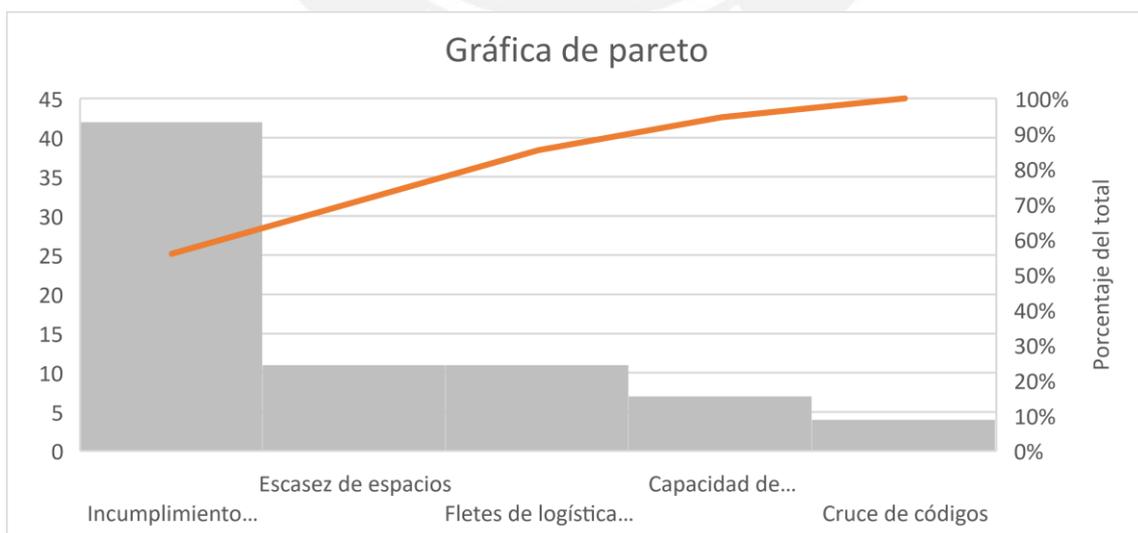


Figura 14. Gráfica de Pareto sobre incidentes en los servicios logísticos.
Elaboración Propia

Como se puede observar el problema con mayor incidencia es el de incumplimiento en las entregas, seguidos por la escasez de espacios y los fletes de logística inversa.

3.5.2 Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)

En esta sección se analizará el problema de mayor incidencia mediante un diagrama de causa-efecto para poder identificar las principales causas, mostrando qué procesos están asociados al incumplimiento en las entregas y justificando la necesidad de una optimización en dichos procesos. A continuación, se detallarán las principales causas y sub-causas.

- **Procesos de distribución:** Las principales razones para el incumplimiento en las entregas se dan en los procesos de distribución, así tenemos:
 - Programación de las unidades de transporte no eficiente: Esto se da porque las unidades no tienen los pedidos completos entonces arman rutas que no consideran todos los puntos de entrega. A la medida que más puntos de entrega se tenga listos, más rutas eficientes se pueden armar.
 - Rutas asignadas con un modelo matemático básico: Se utiliza un software con una heurística basada en el vecino más cercano. No considera tipo de flota ni retorno de mercadería, solo puntos de entrega. Este software sirve de referencia al programador quien realiza la ruta en base a su experiencia.
 - Retraso en los retornos del empaque de mercadería: Esto genera demoras en el retorno de las unidades de transporte por lo que consecuentemente solo llegan a dar 2 vueltas en vez de 3.

- **Procesos de almacén:** Los procesos que se realizan previos a la entrega de la mercadería también tiene un efecto en el incumplimiento de las entregas, como, por ejemplo:

- Pedidos a despachar no concluidos: Puede generar el retraso en los despachos, en caso que se traten de pedidos que se concluyen el mismo día. En caso que se trate de pedidos que se terminen posteriormente a la fecha de entrega, genera rutas ineficientes.
 - Retrasos en la entrega al transportista: Se generan por la capacidad de personal para validar la mercadería de varios vehículos en simultáneo. Tener más recursos no genera una solución pues cuando no hay despachos que realizar, se tendría una capacidad disponible que no necesariamente se puede utilizar en otros clientes (no siempre coinciden los picos de atención de algunos servicios con los valles de otros).
- **Unidades de transporte:** los recursos de mayor relevancia en el proceso de abastecimiento son las personas y las unidades de transporte. Algunos de las principales causas son:
- Unidades de transporte subutilizadas: Unidades de transporte que en su recorrido tuvieron la opción de abastecer a una tienda, pero no lo hicieron porque ese pedido aún no estaba listo. Se debe programar una siguiente ruta para atender ese punto cuando su mercadería esté lista.
 - Variedad en la capacidad de flota: Solo tienen asignados vehículos de 10m³ y de 30m³ como unidades de transporte de flota propia. Para el caso que se requiera vehículos con una capacidad diferente se utiliza vehículos de una flota tercera. En este segundo caso, el costo de usar estos vehículos es mayor que el de usar los propios.
- **Información:** El uso y disposición de información también repercute en el incumplimiento en las entregas, tal es así que tenemos los siguientes casos:
- Variación y ajustes en la proyección de la demanda: Las fluctuaciones en la demanda, así como también los cambios en la proyección que comparte el cliente, genera que no se tenga a

tiempo los recursos necesarios para despachar lo solicitado. Los ajustes que se realicen a la proyección de la demanda también deberían ser comunicados oportunamente.

- Falta de un sistema de reposición entre tiendas: Con un sistema de reposición entre las tiendas se podría utilizar más eficientemente las unidades de transporte para el abastecimiento de la mercadería ya que existe la probabilidad de que se realice el abastecimiento desde los puntos de entrega con exceso de mercadería hacia los puntos de entrega con falta del mismo tipo de mercadería.
- **Otros:** Existen un conjunto de factores exógenos al servicio pero que también tienen un impacto en el índice de incumplimiento de entregas, aunque con menor frecuencia.
 - Tráfico por zonas de regular circulación: En algunas ocasiones el tráfico en las zonas de circulación es el motivo de un arribo tarde, generando que las unidades de transporte solo puedan dar 2 vueltas en vez de 3.
 - Inspecciones inopinadas por auditores de transporte: Eventualmente, se realizan intervenciones donde se revisa la mercadería generando minutos perdidos en el traslado de mercadería, los cuales también generan que se lleguen a dar solo 2 vueltas.
 - Cambios en las ventanas horarias de atención: Los cambios en las ventanas de atención son eventos atípicos, pero por lo general originan nuevas rutas se mejoran experimentalmente en próximas programaciones.

En la figura 15 se muestra las principales causas y sub-causas que generan el incumplimiento en el servicio de abastecimiento de mercadería a las tiendas de conveniencia.

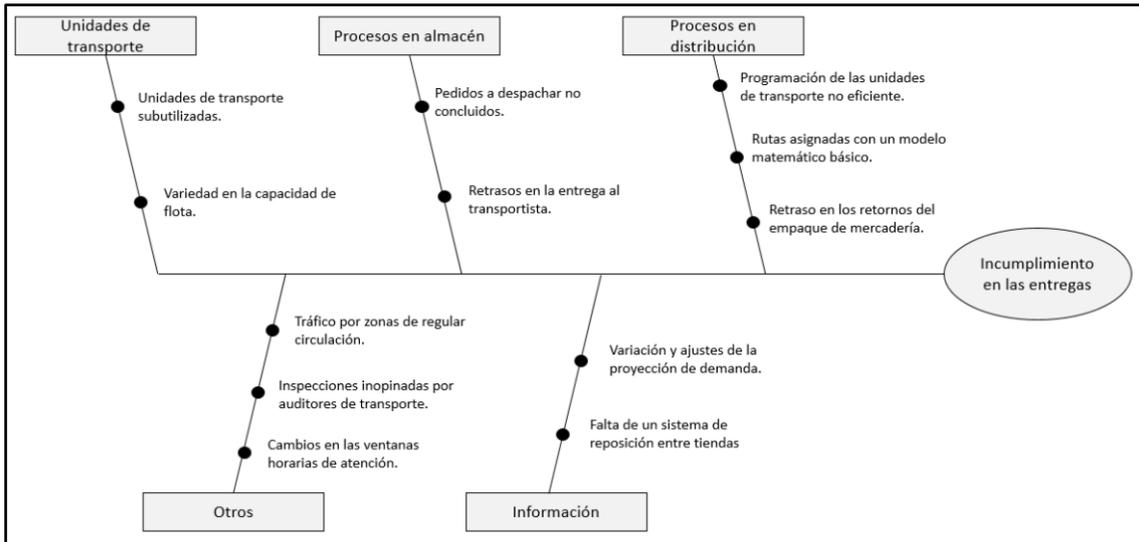


Figura 15. Diagrama causa efecto del incumplimiento de entregas.
Elaboración propia.

Lo señalado en el presente acápite muestra la necesidad de un rediseño en el servicio de abastecimiento a las tiendas de conveniencia, puntualmente en aquellos asociados a los procesos de distribución (ruteo) y los de almacén.

Capítulo 4: Propuesta de optimización y mejora

En base a las principales causas en el incumplimiento de entregas, en esta sección se evaluará metodológicamente la viabilidad de utilizar un sistema de abastecimiento que considere el exceso de inventario en cada punto de entrega y el retorno de empaques logísticos, de forma que el abastecimiento resulte más eficiente y, en consecuencia, el incumplimiento sea menor.

4.1 Estudio de la demanda

Cada punto por abastecer tiene un rol diferente, pues la rotación de inventarios define que sea abastecido con una mayor o menor frecuencia. Es importante definir qué puntos se comportarán como nodos de transbordo y qué nodos se comportarán como demanda pura. En este caso solo existe un nodo de oferta pura, el cual vendría a ser el centro de distribución.

Dado que se busca abastecer 93 tiendas de conveniencia desde un almacén central, lo primero será establecer la segmentación por distrito y la demanda que representa. En la tabla 8 se muestra la demanda por cada punto de entrega.

Tabla 8: Demanda según las agencias por abastecer.

DISTRITO	AGENCIAS X DISTRITO	Demanda
SURCO	10	7763
MIRAFLORES	9	8380
LA MOLINA	8	6919
SAN ISIDRO	6	5743
LA VICTORIA	5	2915
Cercado de Lima	5	2593
SAN MIGUEL	5	3554
SAN JUAN DE LURIGANCHO	4	2215
LINCE	4	2660
MAGDALENA DEL MAR	4	2426
CHORRILLOS	4	2480
COMAS	3	2478
SAN MARTIN DE PORRES	3	2212
CALLAO	3	2225
SURQUILLO	2	1148
San Borja	2	1767
JESUS MARIA	2	2051
BARRANCO	2	891

LURIN	2	2373
LOS OLIVOS	1	433
CHAACLACAYO	1	1295
SANTA ANITA	1	787
ATE	1	158
SAN LUIS	1	387
BREÑA	1	200
LA PERLA	1	211
SAN JUAN DE MIRAFLORES	1	764
PUEBLO LIBRE	1	373
INDEPENDENCIA	1	283

Elaboración propia

Dado que actualmente solo se considera abastecimiento desde el almacén central a los puntos de entrega, lo siguiente es establecer qué artículos (por familias) son los que más rotación tienen. En la tabla 9 se muestran los tipos de artículos que se abastecen semanalmente y su rotación.

Tabla 9. Principales familias y la cantidad promedio abastecida al mes.

Tipo de artículo	Promedio (en unidades por mes)
Insumos	616,608
Galletas, snack y golosinas	282,349
Chocolates	104,353
Licores	87,352
Cigarros	39,252
Bebidas	18,079
Cuidado personal	11,091
Panetones	1,464
Accesorios	1,083
Limpieza	143

Elaboración propia

De la lista no se considerará insumos (mayonesa, ketchup, ajíes, todos en presentaciones de 10gr), puesto que no tiene un valorizado alto, su traslado no justificaría fletes adicionales y son de requisito indispensable en cada uno de los puntos de venta. Para el presente estudio solo se considerará Chocolates, Licores y bebidas, los cuales, por su valor, volumen y sensibilidad a ser perecibles, se consideran como los artículos relevantes en el análisis.

4.2 Planteamiento de la red

Dado que ya se tienen definidos los nodos que conformarán la red y la demanda de los mismos, el siguiente paso será determinar los arcos y distancias que representan los mismos.

Para la determinación de las distancias se considerará el recorrido sugerido por *Google Maps*, el cual tiene como principio el uso de las distancias Manhattan y también considera el sentido de las trayectorias. En la tabla 10 se muestran las distancias en kilómetros para los puntos de mayor rotación de inventarios.

Tabla 10. Distancias en kilómetros del primer bloque de nodos que compondría la red.

DISTANCIAS EN KM	Callao 100 87, Callao 07046	AV ALMENDARIZ 575	AV JAVIER PRADO ESTE 4350	AV LA MARINA 2185	AV JAVIER PRADO OESTE 1895	AV MARISCAL CASTILLA 905	CRUCE PAN NORTE CON AV ANGELICA GAMARRA	AV AREQUIPA 3325	AV GREGORIO ESCOBEDO 410-416	Carretera Panamericana Sur km 29.5	AV ALAMEDA EL CORREGIDOR 1195
Callao 100 87, Callao 07046	-	20.7	23.9	9.8	14	23.4	13.4	16.6	15.8	68.3	27.1
Av Armendariz 575	20.7	-	10.7	12.9	6.7	3.1	16.9	7	9.5	43.2	15.5
Av Javier Prado Este 4350	23.9	10.7	-	13.8	9.4	9.3	17.2	7.1	9.6	43.7	6.6
Av La Marina 2185	9.8	12.9	13.8	-	4.6	14.4	10.5	7.6	4.5	55.5	17.5
Av Javier Prado Oeste 1895	14	6.7	9.4	4.6	-	9.4	11.9	3.3	2.4	51.1	13.1
Av Mariscal Castilla 905	23.4	3.1	9.3	14.4	9.4	-	18.3	8.4	10.9	39.9	12.6
Cruce Pan Norte Con Av Angelica Gamarra	13.4	16.9	17.2	10.5	11.9	18.3	-	15.9	13.6	62.9	21
Av Arequipa 3325	16.6	7	7.1	7.6	3.3	8.4	15.9	-	3.7	49.3	11.5
Av Gregorio Escobedo 410-416	15.8	9.5	9.6	4.5	2.4	10.9	13.6	3.7	-	51.9	12.5
Carretera Panamericana Sur Km 29.5	68.3	43.2	43.7	55.5	51.1	39.9	62.9	49.3	51.9	-	46.6
Av Alameda El Corregidor 1195	27.1	15.5	6.6	17.5	13.1	12.6	21	11.5	12.5	46.6	-

Elaboración propia

Esta sección corresponde a las principales tiendas en términos de rotación y ubicación, como punto referencia de prioridades que establece la compañía. Más adelante de utilizará otro criterio para agrupar las tiendas convenientemente.

Constitución de la red: Sea $G(A, N)$ un grafo conexo constituido por 96 nodos (N), los cuales representan cada una de las tiendas de conveniencia a abastecer,

incluyendo el centro de distribución. Sea A el conjunto de arcos que conectan estos nodos, cuyas distancias se esquematizan en la tabla 10. Sea K la flota constituida por 18 vehículos de 10m³ de capacidad y 18 de 30m³. Finalmente, sea “q” el conjunto de demandas que ejerce cada nodo según el tipo de artículo en materia de estudio, tal como se muestra en la tabla 8. Entonces, teniendo en cuenta cada uno de los componentes descritos queda definida la red que se utilizará para la formulación matemática.

4.3 Formulación del modelo matemático

Tomando como referencia el modelo propuesto por Gabor 2015; a continuación, se presenta el modelo matemático que con llevaría a una solución exacta del problema propuesto. Seguidamente, se evaluará este modelo solo para un conjunto determinado de nodos, puesto que por la cantidad de variables resulta conveniente usar heurísticas.

1. Variables de ingreso:

d_{ij} : Distancia desde las ubicaciones de cada tienda i respecto a otra tienda j .

q_i : La demanda de la tienda i (la demanda de entregas para $i \in L$ y la demanda de recojo para $i \in B$).

C : La capacidad del vehículo es 30m³.

L : Corresponden al siguiente cuadro de tiendas.

2. Variables de decisión:

X_{ij} : Variable binaria, donde es 1 si el vehículo viaja de i a j , 0 si no viaja.

R_{ij} : Cantidad de mercadería entregada en el arco ij .

P_{ij} : Cantidad de mercadería recogida en el arco ij .

Se busca minimizar la distancia recorrida entre cada una de las tiendas:

3. Minimizar:

$$Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

4. Restricciones dadas por:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad j \in L \cup B \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ji} = 1 \quad j \in L \cup B \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} R_{ij} - q_j = \sum_{i \in V} R_{ji} \quad j \in L \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} R_{ij} = \sum_{i \in V} R_{ji} \quad j \in B \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} P_{ij} = \sum_{i \in V} P_{ji} \quad j \in L \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} P_{ij} + q_j = \sum_{i \in V} P_{ji} \quad j \in B \quad (7)$$

$$\sum_{i \in L \cup B} P_{0i} = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in L \cup B} P_{i0} = 0 \quad (9)$$

$$R_{ij} + P_{ij} \leq 30x_{ij} \quad i \in V, j \in V \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in V, j \in V \quad (11)$$

$$R_{ij} \geq 0 \quad i \in V, j \in V \quad (12)$$

$$P_{ij} \geq 0 \quad i \in V, j \in V \quad (13)$$

4.3.1 Evaluación de la cantidad de variables y restricciones

El modelo propuesto en el marco teórico no resulta conveniente para la restricción de la cantidad de circuitos cerrados que se genera ya que estos siguen el siguiente orden en cantidad de restricciones:

$$R = 2^n + 2n - 1$$

Siendo $n = 93$ nodos, entonces el orden de la cantidad de restricciones que se generan no resulta conveniente resolverlo por un método computacional. Por esta razón se seccionará primero en clústeres de modo que los grupos con

mayor rotación se resuelvan computacionalmente, mientras que los grupos de menor rotación mediante heurísticas. En el siguiente esquema (ver figura 16) se muestra el procedimiento a realizar para la ejecución del modelo:

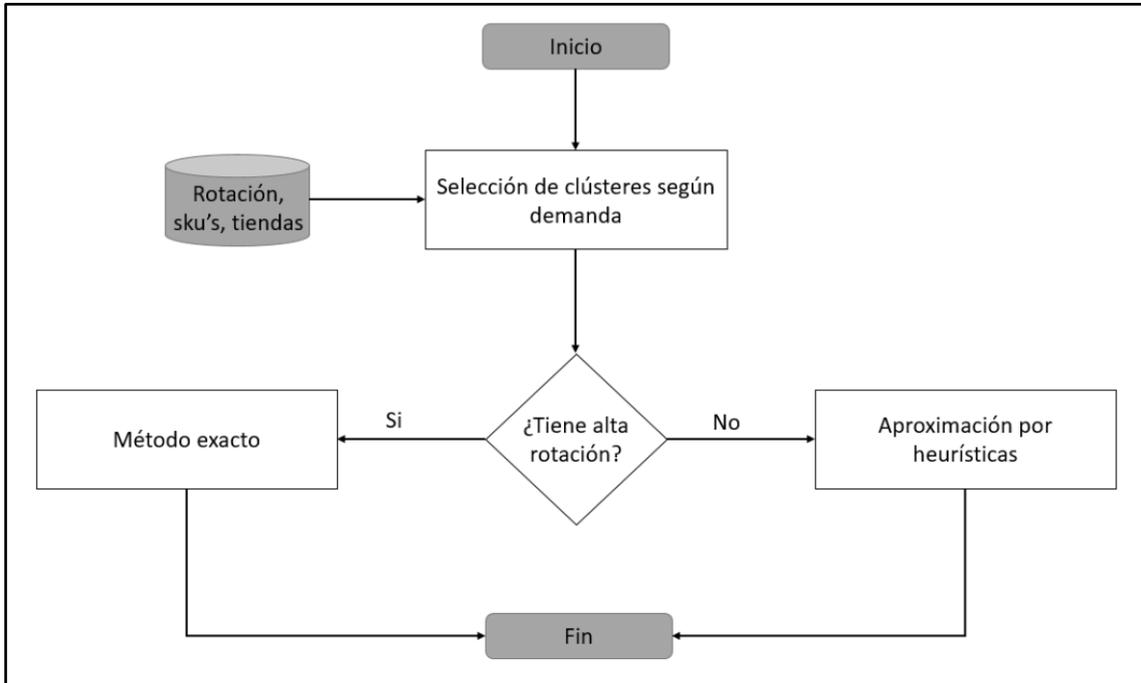


Figura 16. Metodología para segmentar la cantidad de nodos a procesar.
Elaboración propia

También se tomará en cuenta la flota disponible, la cual se ha segmentado como flota propia, ya que en los casos que se requiera una capacidad diferente se está considerando el uso de un proveedor tal como se viene realizando actualmente. En la tabla 11 se muestra la cantidad de viajes por vehículo realizado por tipo de vehículo.

Tabla 11: Vehículos a considerar en la distribución. Solo F10 y F30 son propios.

Vehículo	Cantidad	Viajes x año	capacidad max.	capacidad prom. (m3)
F10	18	1412	432	15
F30	18	1771	250	21
F40	3	576	137	19
F20	2	33	55	17
F50	1	1	682	682
COMBI	1	1	44	44

Elaboración propia

Para la resolución se utilizará como plataforma el software AMPL, mediante el cual se realizarán 10 corridas con las principales combinaciones que resultan de los diferentes tipos de demanda que pueden resultar.

4.4 Agrupación de estaciones por método K-means

Para aplicar el modelo matemático es conveniente separar las tiendas que se abastecerán agrupándolas de acuerdo con su ubicación y rotación. De este modo, se tendrá un modelo más compacto por cada clúster generado. En la figura 17 se muestra la distribución de los puntos abastecer ordenados por latitud (eje horizontal) y longitud (eje vertical).

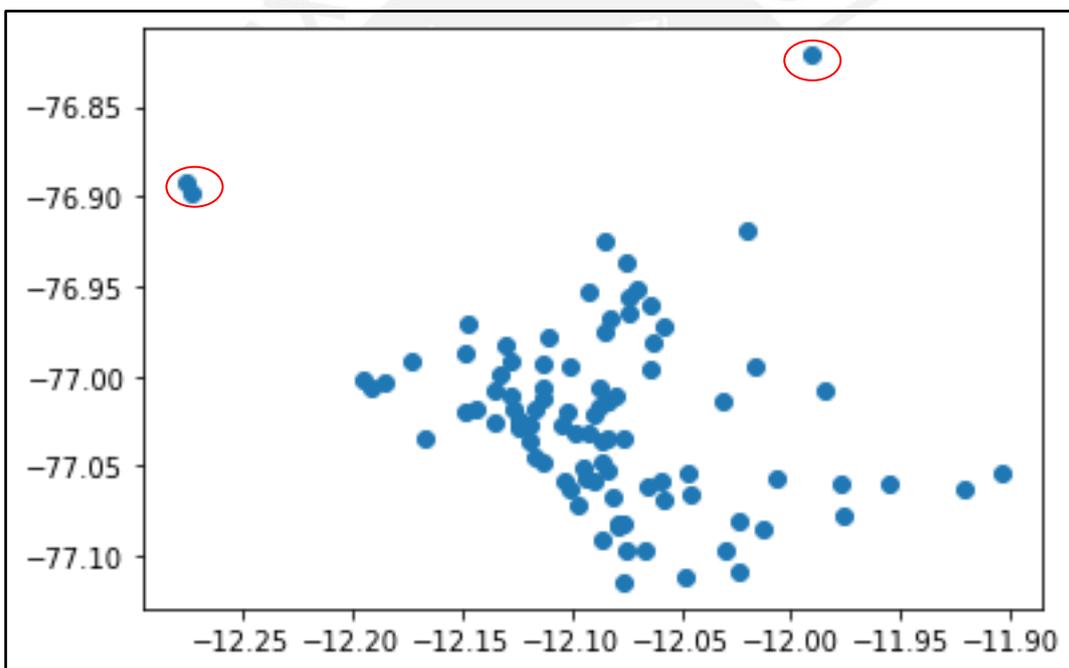


Figura 17. Nodos que abastecer por latitud (eje horizontal) y longitud (eje vertical).
Elaboración propia usando Python.

Existen tres puntos que por la distancia al grupo general de puntos se retirarán para reducir el error cuadrático al usar el algoritmo de K-means para agrupar los puntos a abastecer en cuatro clústeres. Luego de retirar los nodos que corresponden a las estaciones Pansur, San Carlos y Ñaña, se tendría la distribución de nodos, tal como se muestra en la figura 18.

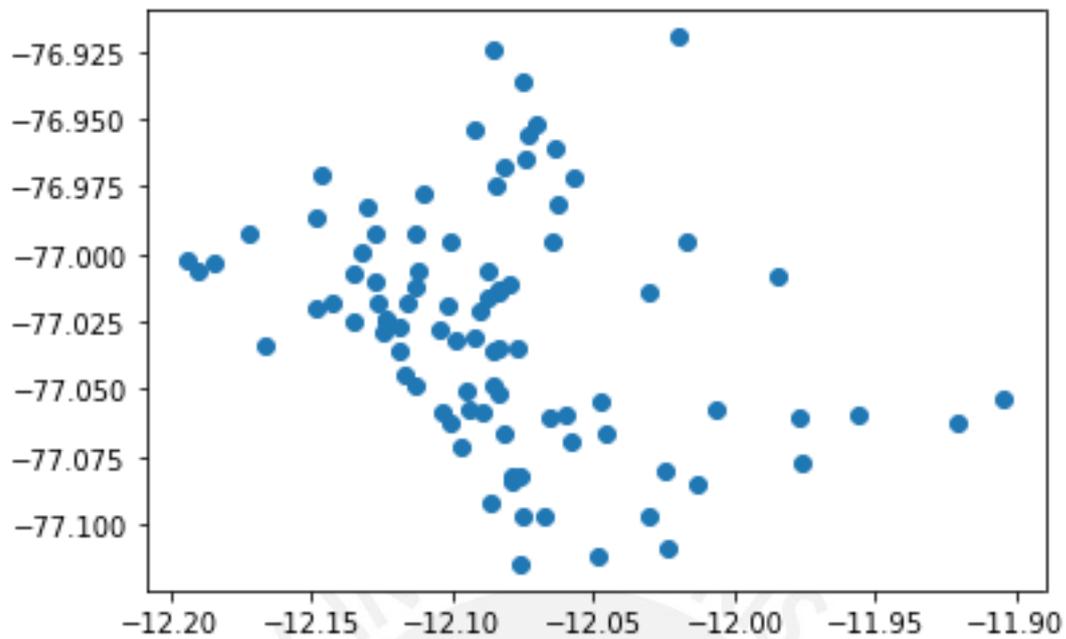


Figura 18. Nodos que abastecer depurados.
Elaboración propia usando Python.

Para la aplicación de los clústeres por el método K-means se utilizó la plataforma de *Google Colaboratory*, obteniendo como resultado la agrupación mostrada en la figura 19. Para este caso en particular se está considerando cuatro clústeres para la agrupación de todos los datos.

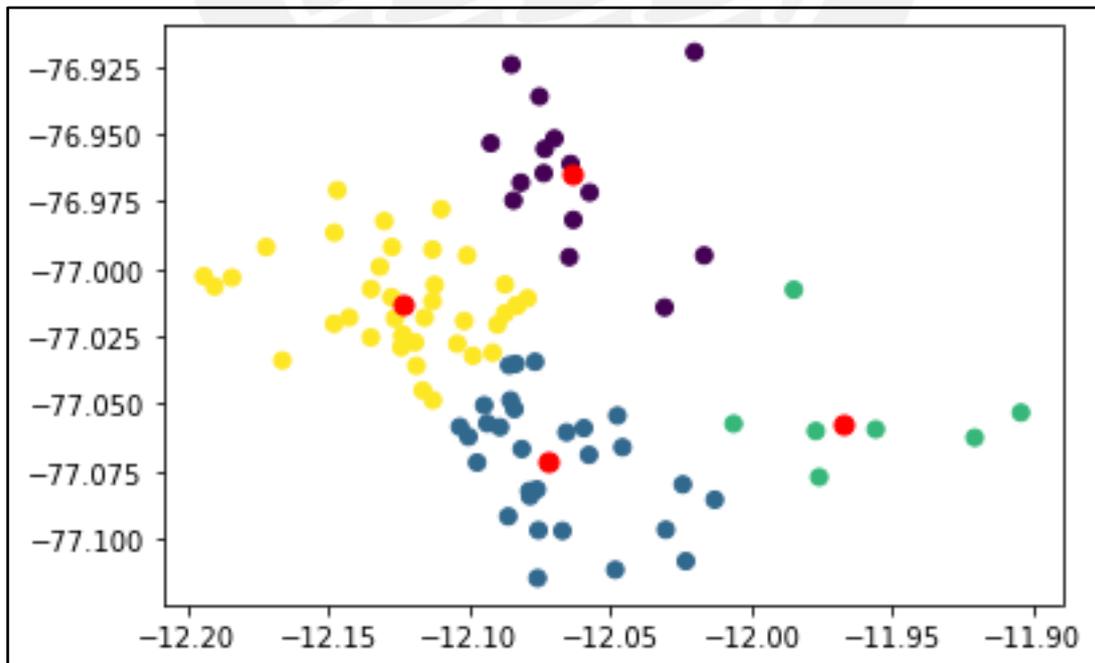


Figura 19. Agrupación por K-means. En rojo los centroides y cada coloración de nodos representa un clúster diferente. Elaboración propia usando Python.

Para finalizar, la figura 20 muestra el mapa que agrupa los nodos a ser abastecidos, teniendo en cuenta los cuatro centroides definidos mediante la segmentación por clústeres. Dado que el clúster que consolida más puntos de abastecimientos es el que se ubica entre los distritos de Miraflores, San Borja y Surquillo, se tomará este clúster como región inicial para desarrollar el modelo matemático.

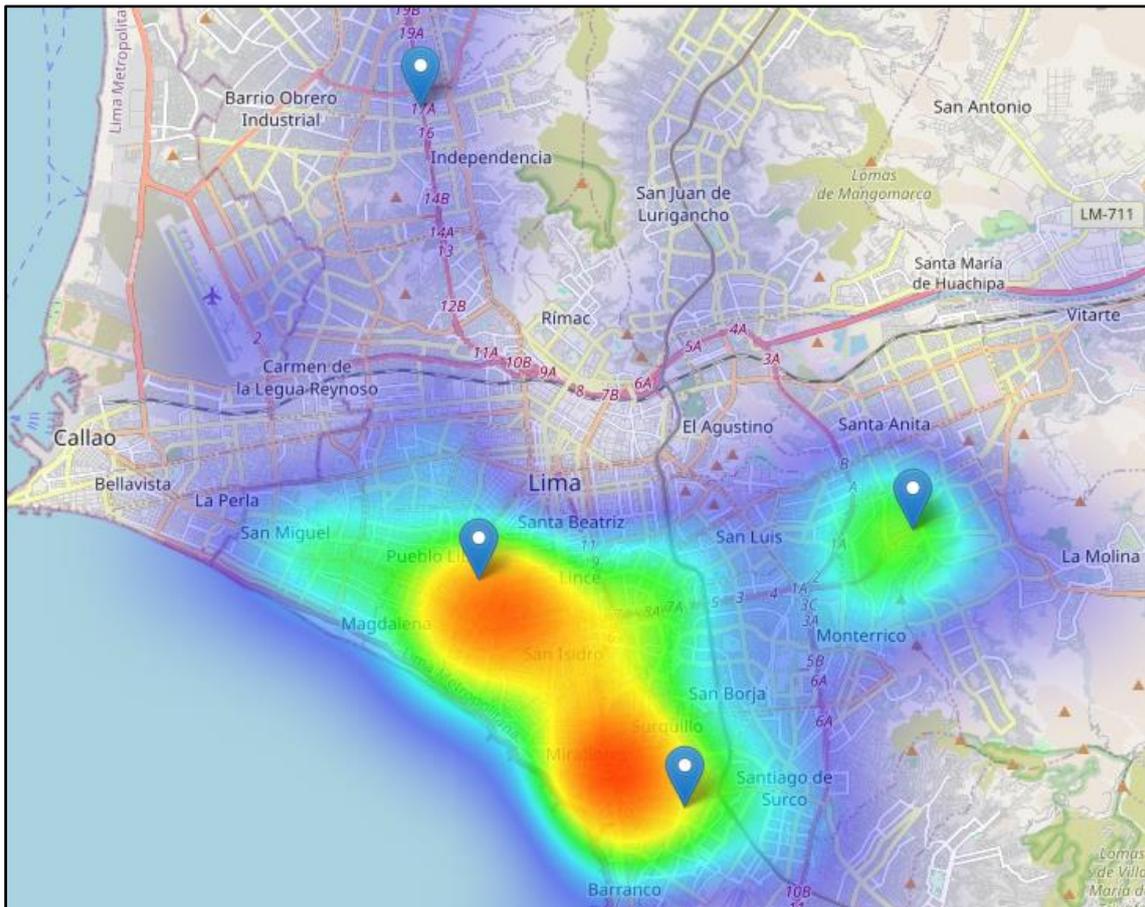


Figura 20. Agrupación por K-means. En rojo los centroides y cada coloración de nodos representa un clúster diferente. Elaboración propia usando Python.

En la tabla 12 se muestra los centroides de cada uno de los clústeres formados; en particular, el desarrollo del modelo matemático se centrará en la agrupación con el Centroide 2.

Tabla 12: Centroides formados mediante el método K-means.

Centroides	Latitud	Longitud
Centroide 1	- 12.07	- 77.07
Centroide 2	- 12.12	- 77.01
Centroide 3	- 12.06	- 76.96
Centroide 4	- 11.97	- 77.06

Elaboración propia



Capítulo 5: Evaluación de resultados

En el presente capítulo se realizará la interpretación de los resultados del modelo desarrollado, así como también las variables que determinan el impacto económico en la viabilidad de resultados.

5.1 Interpretación de resultados

Para la ejecución del modelo se utilizó la plataforma AMPL, se analizó la distribución sobre los establecimientos agrupados en el capítulo anterior como clúster número 2. Dado que la función del modelo consiste en minimizar las distancias recorridas, el principal resultado para abastecer las 35 tiendas agrupadas es 187.25 Km. Como parte de resultado de la ejecución del modelo también se obtiene la cantidad de vehículos requeridos por tipo. En este caso, se requeriría 3 vehículos de capacidad de 10 m³ y uno de 30 m³. Adicionalmente, el modelo permite diferenciar aquellos nodos que solamente recibirían mercadería de aquellos que reciben y, al mismo tiempo, entregan mercadería que por la baja rotación y demanda convendría recolocarlas en otras tiendas. En la tabla 13 se muestra los resultados de qué tiendas en específico cumplirían cada rol y qué tipo de flota abastecería a cada una de ellas.

Tabla 13: Configuración propuesta de abastecimiento de tiendas.

Nodo	Lugar	Rol	Flota
1	E/S AREQUIPA 2	Recibe y entrega	CTR30
2	E/S AREQUIPA	Recibe	CTR30
3	E/S DUEÑAS	Recibe	CTA10
4	E/S MARBELLA	Recibe y entrega	CTB10
5	E/S BAHIA	Recibe	CTC10
6	E/S CANADA	Recibe	CTB10
7	E/S SUDAMERICANO	Recibe	CTA10
8	E/S BRASIL	Recibe	CTC10
9	E/S SALAVERRY	Recibe	CTC10
10	E/S HUIRACocha	Recibe y entrega	CTC10
11	E/S JAVIER PRADO	Recibe	CTR30
12	E/S LISTO PARODI	Recibe	CTB10
13	E/S CASTAÑOS	Recibe y entrega	CTC10

14	E/S FLORA TRISTAN	Recibe y entrega	CTR30
15	E/S PERSHING	Recibe	CTB10
16	E/S PANDO	Recibe	CTA10
17	E/S LA MARINA	Recibe	CTR30
18	E/S EL CARMELO	Recibe y entrega	CTA10
19	E/S LA PAZ	Recibe	CTA10
20	E/S ARRIOLA	Recibe	CTC10
21	E/S REPUBLICA	Recibe	CTR30
22	E/S TINGO MARIA	Recibe y entrega	CTB10
23	E/S ELIO	Recibe	CTR30
24	E/S RISSO	Recibe	CTR30
25	E/S LA MINKA	Recibe	CTB10
26	E/S MAGDALENA	Recibe	CTC10
27	E/S ORRANTIA	Recibe y entrega	CTR30
28	E/S EJERCITO	Recibe	CTB10
29	E/S FAUCETT	Recibe	CTR30
30	E/S SAN MIGUEL	Recibe	CTR30
31	E/S PERLA	Recibe	CTC10
32	E/S CASTILLA	Recibe	CTA10
33	E/S ZARATE	Recibe	CTA10
34	E/S SUCRE	Recibe y entrega	CTB10
35	E/S BREÑA	Recibe y entrega	CTA10

Elaboración propia

Cada una de las estaciones de servicio o tiendas ha sido asociada a un nodo específico dentro de la red que conforma el clúster 2. La categoría flota describe el tipo de vehículo que abastecerá cada tienda, teniendo como referencia los dos últimos dígitos para la capacidad en metros cúbicos a la que pertenece.

5.2 Impacto en el incumplimiento de entregas

La disponibilidad de producto mejoraría en un 30% dada la mejora en el abastecimiento y la reducción de unidades de transportes requeridas para el abastecimiento de las tiendas. En la tabla 14 se muestra qué tipo de vehículo abastecería cada tienda como resultado del modelo propuesto, mientras que en la tabla 15 se muestra cómo se abastecían sin el uso de programación lineal.

Tabla 14. Configuración de abastecimiento por vehículo propuesta.

Vehículos	Recibe	Recibe y entrega	Total
CTA10	6	2	8
CTB10	5	3	8
CTC10	6	2	8
CTR30	8	3	11
Total	25	10	35

Elaboración propia

Tabla 15. Configuración de abastecimiento por vehículo actual.

Vehículos	Recibe
CTA10	6
CTB10	5
CTC10	5
CTD10	5
CTR30	7
CTP30	7
Total	35

Elaboración propia

La cantidad de vehículos que se utiliza actualmente para el abastecimiento de estas 35 tiendas son 6, mientras que los que se utilizaría de acuerdo al modelo propuesto son 4. Mediante la optimización de rutas y considerando que se pueden recolocar artículos durante el recorrido de abastecimiento se vuelve prescindible el uso de un furgón de 10m³ y uno de 30m³.

5.3 Costo asociados a la propuesta de abastecimiento

El esquema de facturación actual del abastecimiento a tiendas es mixto porque la compañía no dispone de suficientes vehículos para atender a toda la red. Por esta razón algunos vehículos tienen una estructura de costos correspondientes a una flota propia, mientras que el resto es flota tercera. Para fines de cálculo se considerará que todos los puntos correspondientes al agrupamiento 2, serán abastecidos con flota propia. En la tabla 16 se muestran los costos resultantes

por abastecimiento según el modelo de abastecimiento propuesta, mientras que en la tabla 17 se muestran los costos como se realizan actualmente.

Tabla 16. Costo total por día asociado a la propuesta de abastecimiento según el modelo matemático desarrollado.

Datos	Versión propuesta	
Km recorridos	37.45	112.35
Km/galón	25.00	35.00
Costo por galón	S/ 20.50	S/ 20.50
Peajes	S/ -	S/ -
Chofer	S/ 69.23	S/ 207.69
Auxiliar	S/ 57.69	S/ 173.08
Costos	Versión propuesta	
Tipo vehículo	Furgón 10 m3	Furgón 30 m3
Depreciación	S/ 179.21	S/ 114.04
Combustible	S/ 30.71	S/ 65.81
Personal	S/ 126.92	S/ 380.77
Total	S/	897.46

Elaboración propia

Tabla 17. Costo total por día según la forma de abastecimiento actual a las estaciones de servicios.

Datos	Versión actual	
Km recorridos	90.88	181.77
Km/galón	25.00	35.00
Costo por galón	S/ 20.50	S/ 20.50
Peajes	S/ -	S/ -
Chofer	S/ 138.46	S/ 276.92
Auxiliar	S/ 115.38	S/ 230.77
Costo	Versión actual	
Tipo vehículo	Furgón 10 m3	Furgón 30 m3
Depreciación	S/ 179.21	S/ 114.04
Combustible	S/ 74.52	S/ 106.46
Personal	S/ 253.85	S/ 507.69
Total	S/	1,235.78

Elaboración propia

Con la propuesta de abastecimiento considerando el recolocar artículos entre cada una de las tiendas se puede llegar a tener un ahorro de 338.32 soles por días considerando solo uno de los clústeres formados. Esto representa un monto

anual de 120 mil soles por cada uno de los 4 clústeres formados. Estos costos podrían ir variando dado que en otras agrupaciones de puntos a abastecer existen otras variables como los peajes o una mayor cantidad de auxiliares requeridos en las entregas. Así mismo, no se considera variaciones sobre el precio de combustible ni el grado de dispersión que tiene los puntos a abastecer respecto de sus centroides.

5.4 Viabilidad de los resultados

La distancia total recorrida por vehículo en el método propuesto es de 37.45 Km, mientras que actualmente el promedio es de 45.44 Km recorridos por vehículo. Sin embargo, el modelo propuesto no contempla ventanas horarias, si bien esta restricción solo está presente para aquellas estaciones que pertenecen a las municipalidades de San Isidro y Miraflores, las cuales representan el 12%. Existen modelos que consideran en restricciones adicionales para incluir las ventanas de tiempo, mas no se han considerado ya que solo se tratarían de 3 tiendas o nodos que tienen esta restricción.

Por otro lado, la cantidad de vehículos requeridas también se reduce de 6 a 4, lo que representaría para la compañía la forma de recolocar las unidades que no utilice. Se podrían incluir dentro del costo total de la propuesta de abastecimiento.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las principales conclusiones de la propuesta de servicios como parte de la viabilidad en los procesos. Además, se hacen algunas recomendaciones.

6.1 Sobre la propuesta de mejora en el servicio

- Los beneficios obtenidos durante la elaboración del modelo de distribución podrían variar si se incluyen otras familias de artículos, por ejemplo, cigarrillos (3.4%), bebidas (1.6%) y cuidado personal (1%); sin embargo, dado que la rotación de estos artículos no supera el 5.9% del total, se concluye que no tendría un impacto representativo en los ahorros generados por el modelo propuesto.
- La necesidad de vehículos se reduce, pasando de 4 F10 a 3 F10 y de 2 F30 a solo 1 F30. Dado que existen procesos asociados a la gestión de flota, se concluye que la propuesta también tendrá un impacto en la gestión de flota, ya que ahora se requerirán menos horas hombre para el seguimiento y monitoreo de esas unidades. En específico, se estima 2 horas hombre menos (una hora por vehículo distribuido a lo largo del día), lo cual representa un 25% menos de dedicación en esta actividad.
- El presente estudio surge como la necesidad de mejorar la tasa de incumplimiento (15%). Para ello se propone un modelo de distribución que logra reducir la tasa de incumplimiento, generando ahorros en la distribución y además incrementando la disponibilidad de inventarios mediante la reubicación de productos. El modelo propuesto logra resolver eficientemente el problema de disponibilidad de stock.
- El crecimiento de más tiendas en la red de abastecimiento conduce a una mayor cantidad de nodos con una redistribución natural de la demanda.

Considerando que el modelo en evaluación proyecta un crecimiento de 15 tiendas (16% anual) para el próximo año. Se concluye que la evaluación de la red no solo depende de que tan perecibles sean los artículos o de la disponibilidad semana, sino también del crecimiento proyectado de la red, en términos de nodos.

6.2 Sobre la aplicación de la metodología

- Durante el desarrollo del modelo, se logra flexibilizar la cantidad de nodos a procesar. Para ello se utiliza convenientemente clústeres que agrupan la cantidad de nodos según zonas y cantidad de requerimientos por cada zona. Usar este método no solo permite reducir la cantidad de nodo a computar en el modelo matemático, sino que también clasifica a los nodos agrupándolos y generando secciones donde se puedan armar rutas independientes de distribución. Los resultados obtenidos permiten sustentar que separar por clústeres es una opción viable en la confección de un modelo con demasiados nodos.
- La metodología empleada para la elaboración del modelo del matemático de la presente tesis se basa en que las mercancías se pueden recolocar desde una estación hacia otra. Sin embargo, las estaciones que durante un periodo entregan un artículo para recolocar en otra estación, al próximo periodo podrían ser estaciones que solo reciben. Por esta razón, la demanda y disponibilidad de cada artículo por estación, se deben actualizar cada que se necesite reabastecer todas las tiendas de alguna agrupación.
- El modelo presentado también es aplicable para otras redes de abastecimiento que contengan artículos perecibles y que puedan ser reubicados dentro de la red, tales como los darkstore². Para ello, siempre

² *Darkstore*: Punto de venta minorista o centro de distribución que existe exclusivamente para compras en línea.

es conveniente evaluar si el costo de reubicar resulta siendo más barato que el costo de abastecer directamente, incluyendo el costo del posible vencimiento del artículo o familia de artículos.

- La aplicabilidad de la metodología para modelos similares depende del grado de relevancia que tenga el artículo y la eficiencia en la red de abastecimiento. En la figura 21, se muestra las principales características que debería contener la red para aplicar el modelo de distribución propuesto. En general, se ha nombrado factor A, a todas aquellas características que están relacionadas al artículo, mientras sean altas, significa que es relevante contar con estos artículos en los puntos de destinos ya sea mediante un abastecimiento directo o una recolocación. Por otro lado, el factor B, se refiere a todas las características del abastecimiento, como la eficiencia del recorrido, la utilización de la unidad de transportes, todas aquellas que al ser bajas podrían generar un ahorro si se considera una recolocación nodo a nodo.

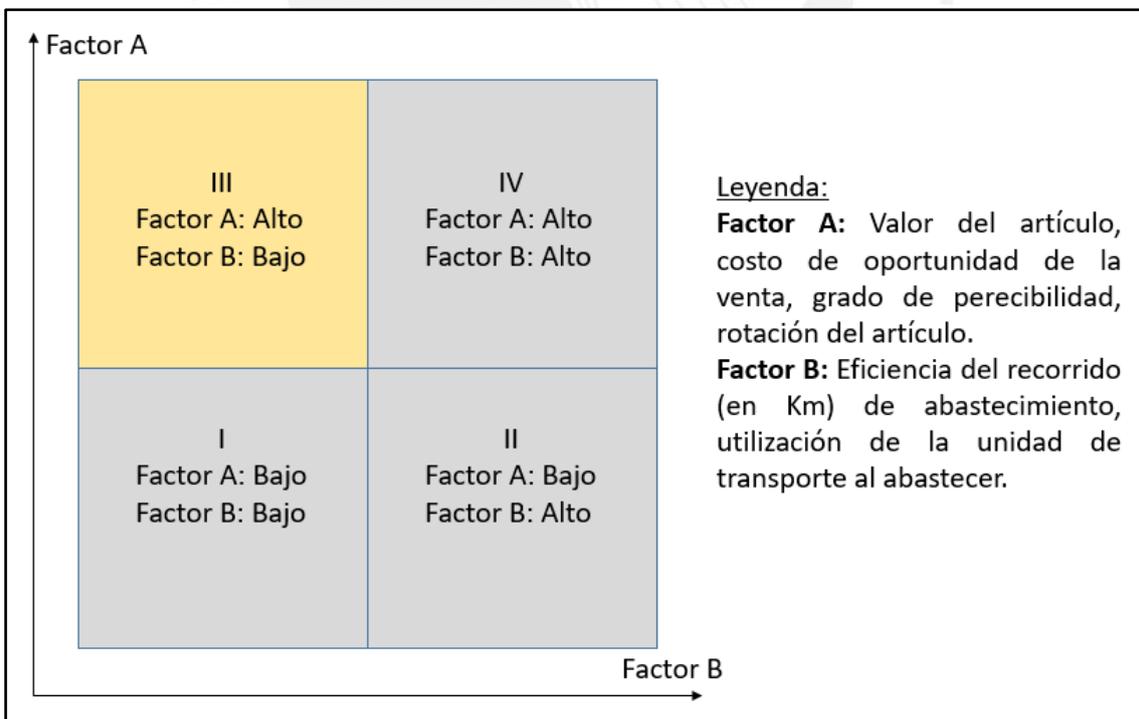


Figura 21. Aplicabilidad de la metodología. Ideal cuadrante III.
Elaboración propia.

6.3 Recomendaciones

- Se recomienda incluir una restricción sobre las fechas de vencimiento de los productos, de modo que se permita diferenciar aquellos productos que tiene una fecha pronta a vencer y priorice su redistribución en la red. Para ello sería necesario diferenciar a cada artículo con una variable adicional y además incluir una restricción que priorice las entregas como si fueran ventanas temporales de tiempo blandas.
- Para la aplicabilidad del modelo propuesto, se recomienda solo utilizar los artículos o familias relevantes para la recolocación. Es decir, si se cuenta con muchos artículos, no necesariamente todos se debería recolocar, sino aquellos que realmente representen un impacto significativo en función a su disponibilidad y valor.
- En caso de contar con una gran cantidad de nodos, es conveniente usar un método de clusterización para evitar una cantidad excesiva de variable. Se recomienda evaluar los nodos que podrían distorsionar la agrupación, para posteriormente segregarlos.
- La aplicación del modelo propuesto debe ser dinámico y evaluar semanalmente los reabastecimientos según la rotación de artículos o familias de artículos. Así mismo la demanda es variable por lo que debe contemple el hecho de posibles rupturas de stock en cada uno de los puntos a desabastecer.
- Dada la frecuencia de oportunidades en la distribución de mercancías y el crecimiento permanente en este rubro de negocio se recomienda también implementar mecanismo que permita actualizar permanentemente el modelo utilizado, de ese modo se podría tener un recorrido efectivo constante.

- Para garantizar el éxito del modelo propuesto se debe tener en cuenta las posibles restricciones de entrega impuestas por cada una de las municipalidades, en específico, respecto a los horarios de circulación. Las opciones de crecimiento de flota para cubrir más puntos por cada recorrido y la capacitación del personal para el uso y actualización del modelo de distribución.
- En general, se recomienda evaluar puntualmente las características de abastecimiento, en función a los factores más influyentes (factor A y factor B), para los cuales garantice una mejor eficiencia en el abastecimiento y una mayor disponibilidad de inventarios por punto de entrega.



Referencias Bibliográficas

- Arbones, E. (1999). *Logística empresarial*. México: Alfaomega.
- Ballou, R. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education.
- Ban, S., & Hyun, K. H. (2019). Designing a User Participation-Based Bike Rebalancing Service. *Sustainability*.
- Baptista Pereira, F., & Tavares, J. (2009). Bio-inspired Algorithms for the Vehicle Routing Problem. *Studies in Computational Intelligence, Volumen 161*, 1-34.
- Bertoli, F., Kilby, P., & Urli, T. (2018). Vehicle routing problems with deliveries split over days. *J Veh Routing Algorithms*, 1-17.
- Bordoloi, S., & Fitzsimmons, J. (2018). *Service Management*. Dubuque: McGraw-Hill Education.
- Cáceda, H. (2021). Observatorio Ecommerce. *Cámara Peruana de Comercio Electrónico*.
- Carreño Solís, A. J. (2018). *Cadena de Suministro y Logística*. Lima: Editorial PUCP.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro*. México: Pearson Educación.
- Christofides, N., & Eilon, S. (1969). An algorithm for the vehicle routing dispatching problem. *OR*, 309-318. Obtenido de <https://doi.org/10.2307/3008733>
- Clarke, G., & Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 568-581.
- Coyle, J., Langley, J., Novack, R., & Gibson, B. (2017). *Administración de la Cadena de Suministro*. Mexico: Cengage Learning.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 80-91.
- Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a Large-Scale Travelling-Salesman Problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, 393-410.
- Delgadillo, R. S. (2007). *Un estudio algorítmico del problema de corte y empaquetado 2D*. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.
- Gilmore, P., & Gomory, R. (1961). A linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem. *Operations Research* 9, 863-888.
- Golden, B. L. (1976). Approaches to the Cutting Stock Problem. *AIIE Transactions* 6, 265-274.
- Kantorovich, L. V. (1960). Mathematical Methods of Organizing and Planning Production. *Management Science* 6, 366-422.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2022). *Operations Management: Processes and Supply Chains*. Pearson Education.
- Niaz, G., & Claudia, G. (2015). The Vehicle Routing Problem with Divisible Deliveries and Pickups. *Transportation Science*, 271-294.
- Punakivi, M., & Tanskanen, K. (2002). Increasing the cost efficiency of e-fulfilment using shared reception boxes. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 498-507.

- Rojas González, C. (2021). *Estudio sobre el uso y la recolocación de vehículos compartidos urbanos. Una aplicación para la ciudad de Concepción*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Salhi, S., & Nagy, G. (1999). A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. *Transportation Sci.*, 356-379.
- Salvador, P. (2021). *Madurez de la Cadena de Suministros*. Ernst & Young Publications.
- Toth, P., & Danielli, V. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Bologna, Italy: SIAM.
- Winston, L. (2009). *Investigación de operaciones: Aplicaciones y algoritmos*. México: Thomson.

