

Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento de Ingeniería Comercial

Lead Time en el transporte primario (T1) de CCU

Memoria para optar al título de
Ingeniero Comercial

Autor: Agustín Salinas U.

Profesor Guía: Fernando Díaz H.

Profesor Correferente: Luis Acosta

Vitacura, July 6, 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Lead Time en el transporte primario
(T1) de CCU

Nombre del candidato(a): Agustín Ignacio Salinas Urzúa

Carrera / Grado: INGENIERO COMERCIAL

Campus: Vitacura Departamento: INGENIERÍA COMERCIAL

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Fernando Díaz Hurtado, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto. x

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07/07/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07/07/2026

Firma:

Contents

1	Resumen Ejecutivo	4
2	Introducción	5
3	Problema de Investigación	8
4	Objetivos	11
1	Objetivo General	11
2	Objetivos Específicos	11
5	Marco Teórico	13
1	Conceptos Relevantes	13
2	Antecedentes Generales	15
2.A	Administración de la cadena de suministro (Sunil Chopra, Peter Meindl)	15
2.B	Logistics and Supply Chain Managment (Martin Christopher)	16
2.C	SCOR Digital Standar (El modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro)	16
2.D	En síntesis	17
3	Evidencia Empírica	18
6	Metodología	20
1	Hipótesis de la Investigación	20
2	Diseño de la Investigación	20
3	Fuentes de Datos	21
4	Procedimiento de Recolección de Datos	24
5	Diseño de la Muestra	25
6	Procesamiento y Análisis de Datos	27
7	Resultados	29
1	Introducción al Análisis Exploratorio de Datos (EDA)	29
2	Top 20 rutas más frecuentes	31
3	Relación entre Horas por Tramo y Valor Neto	32
4	Segmentación de Rutas mediante Clustering (K-Means)	33
5	Análisis Exploratorio de Datos (EDA) aplicado a los Clusters	35
6	Tendencias por mes de las horas por tramo	36
7	Tendencias por mes del Valor Neto	37

8	Tendencias por mes de la Cantidad de Pallets	38
8	Discusión	39
1	Costos	41
1.A	Costos Estimados de la Operación de Transporte	41
1.B	Costos Estimados del Leadtime en la Operación de Transporte	41
9	Conclusiones y Recomendaciones	43
1	Análisis de la situación	43
1.A	Definición operativa de los clusters de rutas	43
1.B	Análisis Estacional del Lead Time y Oportunidades de Anticipación Logística en el Transporte Primario (T1)	44
2	principales recomendaciones	46
10	Limitaciones	48

List of Figures

6.1	Vista general de datos utilizados	22
7.1	Análisis Exploratorio de Datos	29
7.2	Boxplot top 20 Rutas	31
7.3	Horas vs Valor Neto	32
7.4	Resultados según cantidad de Clusters	33
7.5	Gráfico de las curvas Inertia y Silhouette	34
7.6	Estadística Descriptiva de Datos de los Clusters	35
7.7	Horas por tramo en cada Cluster	36
7.8	Valor Neto en cada Cluster	37
7.9	Cantidad de Pallets en cada Cluster	38

Chapter 1

Resumen Ejecutivo

El presente estudio aborda el análisis del transporte de abastecimiento desde una perspectiva operativa, utilizando información histórica con el fin de caracterizar su comportamiento y evaluar cómo se manifiestan la eficiencia, la variabilidad y los costos a lo largo del tiempo. A través de la exploración sistemática de los datos y de la segmentación de las rutas según la distancia recorrida, se identificaron diferencias significativas en los tiempos por tramo entre distintos tipos de recorridos, lo que sugiere que el desempeño del transporte está influenciado por múltiples factores operativos y no únicamente por la longitud del trayecto.

El análisis permitió detectar la existencia de patrones temporales asociados a ciertos períodos del año, en los cuales se incrementan tanto los tiempos de traslado como la dispersión de estos, generando impactos directos en el costo del transporte. Estos comportamientos se relacionan con aumentos en la demanda, restricciones de capacidad, mayor utilización de la flota y una menor flexibilidad operativa, condiciones que tienden a favorecer la aparición de despachos urgentes y una utilización menos eficiente de los recursos disponibles.

En este contexto, la segmentación de rutas emerge como una herramienta relevante para comprender el funcionamiento del sistema de transporte y apoyar la planificación operativa. Diferenciar los recorridos según su distancia y su comportamiento temporal permite analizar de forma más precisa aspectos como la programación de viajes, la asignación de flota, la definición de ventanas de carga y el nivel de consolidación de la carga. Asimismo, facilita la identificación de tramos con mayor exposición a la variabilidad y de aquellos con mayor impacto económico sobre la operación.

En conjunto, los resultados obtenidos aportan una visión integral del transporte de abastecimiento, mostrando cómo la interacción entre distancia, tiempos operativos, demanda y utilización de recursos condiciona el desempeño del sistema. Este enfoque analítico permite avanzar hacia una gestión más planificada y controlada del transporte, orientada a reducir la variabilidad operativa, mejorar el uso de la flota y contener los costos asociados al abastecimiento.

Chapter 2

Introducción

En el contexto de las organizaciones dedicadas a la producción y a la distribución de bienes, la transformación continua de las áreas operativas, logísticas y productivas se ha consolidado como un pilar fundamental para su funcionamiento y permanencia en el tiempo. En el caso particular de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), dicha evolución ha sido especialmente significativa a lo largo de los 175 años que han transcurrido desde la fundación de la compañía. Durante este extenso recorrido histórico, la empresa no solo ha debido adaptarse a cambios tecnológicos, regulatorios y de mercado, sino que también ha fortalecido de manera progresiva la gestión interna de sus procesos. Como resultado, la eficiencia operativa se ha convertido en un componente estratégico y determinante para asegurar su competitividad, permitiendo a la compañía sostener su posición en la industria, responder a nuevas exigencias del entorno y optimizar de forma constante la ejecución de sus actividades productivas y logísticas.

Hace aproximadamente un año, y en consonancia con la necesidad de fortalecer la eficiencia interna de la compañía, se creó un nuevo departamento denominado “**CCUSPIDE**”. Esta unidad surge como una respuesta estratégica orientada a generar ahorros significativos en los costos operacionales, concentrando sus esfuerzos en las áreas más críticas para el funcionamiento de la empresa. Entre estas se encuentran los Centros de Distribución (CD), el Transporte Primario (T1), los Centros Logísticos (CL) y el Transporte Secundario (T2), los cuales conforman la columna vertebral de las operaciones de CCU y permiten asegurar el flujo continuo de productos desde la producción hasta el cliente final.

Para evaluar de manera rigurosa el desempeño de estas cuatro áreas, el departamento implementa un sistema de análisis basado en indicadores clave de eficiencia, cada uno acompañado de metas, parámetros y criterios específicos según la naturaleza del proceso que mide. Este enfoque permite no solo diagnosticar el estado actual de la operación, sino también identificar brechas, oportunidades de mejora y posibles acciones correctivas.

Dentro de este amplio marco de análisis, el presente proyecto centra su atención particularmente en el **Transporte Primario (T1)**, una etapa decisiva en el traslado de productos desde los centros de producción hacia los distintos puntos de la red logística. En este ámbito, se busca profundizar en la incorporación y estandarización de un conjunto de indicadores relevantes, entre los que destacan: el **Truck Retention Time (TRT)** o tiempo de retención del camión dentro de las instalaciones; la **Ocupación en T1**, que mide el nivel de aprovechamiento de la capacidad de carga; “*el **Lead Time en T1**, asociado a la duración total del proceso de transporte entre centros de distribución*”; y el **Cycle Time en T1**, que permite evaluar la recurrencia y la eficiencia del ciclo completo de operación. Estos indi-

cadores, en conjunto, permiten construir una visión integral del desempeño del T1 y sirven como base para futuras mejoras operacionales dentro de la compañía.

Este estudio se origina a partir de la experiencia adquirida en las labores realizadas dentro de la compañía, en el departamento de "CCUSPIDE", dentro de la sección de **Control Tower** (Monitoreo logístico de CCU), un espacio que se encuentra en una etapa inicial de consolidación e implementación, específicamente se abarca el área de Transporte Primario (T1), considerando el monitoreo y reporte constante de los indicadores correspondientes a la respectiva operación, estos indicadores son claves para el correcto desempeño de las actividades y procesos en el área de T1.

Este proyecto se enfoca en el *Lead Time*, debido a la disponibilidad de los datos de la empresa y el interés por parte de esta de avanzar en la construcción del modelo de monitoreo de este indicador. El *Lead Time* -entendido como el tiempo que transcurre entre el inicio y la finalización del proceso de Transporte entre Centros, es uno de los indicadores más relevantes para medir y gestionar el desempeño operativo. En el caso de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), se considera el tiempo efectivo de trayecto de los camiones entre centros de distribución. De esta manera, el *Lead Time* es una variable que refleja la eficiencia en el tiempo de entrega que transcurre dentro del proceso de distribución.

De las principales relevancias en el tema abordado radica en que el *Lead Time* en ruta impacta directamente en los costos logísticos, el uso de recursos y la eficiencia de la operación. Retrasos sistemáticos generan sobre costos en el combustible, horas de conducción, utilización de la flota y costos de oportunidad de realizar otras actividades de transporte, afectando tanto a la sostenibilidad de las operaciones como la capacidad de la empresa para adaptarse a las exigencias del mercado. Con este análisis, la investigación en cuestión permite que los responsables del cumplimiento del Transporte pueden comparar sus resultados pasados y presentes, parametrizar un estándar de resultados futuros, con objeto de predecir y mejorar las métricas porcentuales en la operación, junto con tomar medidas frente a situaciones que generen alertas en los resultados que se alejen demasiado de los parámetros estimados.

El proceso adecuado para la construcción de un modelo de Reportes, Alertas y Resolución de Alertas es: Primeramente una adecuada recopilación de datos representativos del indicador a medir, considerando los procesos involucrados en el Indicador en cuestión, posterior a ello se analizan los datos del indicador y su relación con los costos de la operación, y así poder construir un modelo de costos, y definir los parámetros de la eficiencia operacional, por consiguiente se presenta una correcta visualización de los Indicadores y los parámetros mediante la construcción de paneles de medición de eficiencia, se definen las áreas responsables de las diferentes operaciones involucradas en los procesos que considera el indicador, y posterior a ello se realizan los reportes correspondientes enviados a los respectivos responsables definidos previamente.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación se centra específicamente en Analizar y modelar el comportamiento de el *Lead Time* dentro de las operaciones de Transporte Primario (T1) de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), con el fin de estimar parámetros de eficiencia y proponer mejoras operacionales basadas en datos. El proyecto busca aportar y poner en práctica las diversas habilidades adquiridas en la Universidad Técnica Federico Santa María, específicamente en la carrera profesional de Ingeniería Comercial, y junto con ello aportar a la Compañía de Cervecerías Unidas mediante la satisfacción de la necesidad de contar con la valiosa herramienta de medición de parámetros del proceso interno conocido

en la compañía como el *Lead Time* dentro de la operación de Transporte Primario, esto con el objetivo de poder mejorar sus tiempos y calidad de satisfacción de demandas en los respectivos Centros de Distribución

Chapter 3

Problema de Investigación

La gestión del transporte interno constituye un elemento estratégico dentro de la cadena de suministro de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), especialmente considerando la magnitud y complejidad de su red logística, compuesta por múltiples plantas productivas y centros de distribución distribuidos a nivel nacional. En este contexto, el transporte primario entre centros logísticos y centros de distribución (Transporte Tipo 1) cumple un rol fundamental en la continuidad operativa del sistema y en la eficiencia global de la operación.

Uno de los factores críticos asociados a este proceso corresponde a los tiempos de traslado en ruta, comúnmente denominados Lead Time en ruta, los cuales influyen de manera directa en la planificación del transporte, la asignación eficiente de recursos, la disponibilidad de flota y el control de los costos logísticos. Variaciones significativas en estos tiempos generan efectos adversos en la operación, tales como incumplimientos en la planificación, aumento de costos operacionales —particularmente en consumo de combustible y horas-hombre— y una menor capacidad de respuesta ante contingencias o demandas no planificadas.

Durante la experiencia de práctica profesional desarrollada en el área de Control Tower de CCU, se evidenció que, si bien la organización cuenta con un conjunto de indicadores orientados al seguimiento de sus principales pilares logísticos, el transporte primario carece de un indicador estandarizado y analítico que permita medir, monitorear y gestionar de manera sistemática el comportamiento del Lead Time en ruta. Esta ausencia de información estructurada limita la visibilidad del desempeño real del proceso, dificulta la identificación de desviaciones relevantes entre rutas y restringe la toma de decisiones basada en datos para la mejora continua del sistema de transporte.

En este sentido, la falta de un indicador formal de Lead Time en ruta representa una brecha relevante para la gestión logística de la empresa, considerando la necesidad de contar con herramientas que permitan anticipar ineficiencias, priorizar acciones de mejora y optimizar los costos asociados al transporte primario. Frente a este escenario, la presente investigación se orienta a analizar el comportamiento del Lead Time en ruta a partir de la segmentación de las rutas de transporte, poniendo énfasis en aquellas que presentan mayores niveles de variabilidad, con el propósito de generar información objetiva, comparable y útil para el diseño de un indicador que apoye la toma de decisiones operativas y estratégicas en CCU.

A partir del planteamiento del problema expuesto anteriormente, se hace evidente la necesidad de formular un conjunto de interrogantes de investigación que permitan abordar de manera estructurada y sistemática las brechas identificadas en la gestión del transporte primario de CCU. Estas interrogantes surgen como respuesta a la ausencia de un indicador formal de Lead Time en ruta y a la falta de visibilidad sobre su comportamiento, variabilidad e impacto en la eficiencia operativa y en los costos logísticos.

En este contexto, las preguntas de investigación cumplen la función de orientar el análisis de los datos, delimitar el alcance del estudio y guiar la selección de las metodologías analíticas a utilizar. Asimismo, permiten traducir el problema operativo identificado en el ámbito empresarial en objetivos de análisis concretos, facilitando la generación de evidencia empírica que sustente la toma de decisiones y la propuesta de mejoras aplicables a la operación real.

De esta manera, las interrogantes que se presentan a continuación buscan comprender cómo se comporta el Lead Time en ruta dentro de la red de transporte primario de CCU, identificar aquellas rutas que presentan mayores niveles de variabilidad y evaluar en qué medida dicha variabilidad impacta en el desempeño operativo. Con ello, se pretende sentar las bases para el desarrollo de un indicador que contribuya a fortalecer la gestión, el control y la optimización del transporte interno de la compañía.

Impacto y alcance

El análisis del **Impacto y Alcance** del Lead Time en ruta dentro de las operaciones de Transporte Tipo 1 (T1) de CCU exige comprender con precisión cómo este indicador influye tanto en los costos directos como en los costos de oportunidad asociados al uso de la flota. Un Lead Time elevado o altamente variable puede incrementar el gasto en combustible, generar más horas-hombre no planificadas y reducir la disponibilidad de los camiones para otros trayectos, afectando de manera directa la eficiencia global del sistema logístico. Por ello, resulta fundamental determinar hasta qué punto estos efectos económicos repercuten en la productividad del transporte primario y definir con claridad el alcance del estudio: qué rutas representan mejor la diversidad de la red y permiten obtener conclusiones válidas y extrapolables al conjunto de las operaciones de CCU.

En cuanto a **Datos y Variables**, es necesario precisar cuáles elementos aportan información relevante para medir correctamente los efectos de Lead Time en ruta y cuáles deben ser descartados por no corresponder al fenómeno que se desea analizar. Por ejemplo, los tiempos estrictamente asociados al movimiento entre centros son esenciales. De igual forma, es crucial seleccionar las variables que realmente permiten evaluar el desempeño del transporte, tales como el nivel de utilización de los camiones y el Costo de la operación, dejando de lado métricas que no entregan valor en este contexto analítico.

Respecto a **Parámetros y Condiciones**, se deben establecer criterios claros que definan cómo será medido y comparado el Lead Time. Variables externas como estacionalidad, congestión vehicular, periodos de alta demanda o interrupciones excepcionales deben ser consideradas o descartadas según su efecto real en la operación. Asimismo, la selección de las rutas como caso de estudio debe justificarse bajo criterios sólidos, como su relevancia en el flujo logístico, su nivel tecnológico para el registro de datos, o porque presenta valores extremos o críticos de Lead Time que permitan identificar brechas y oportunidades de mejora.

Finalmente, las **Dimensiones de Análisis y Límites** permiten delimitar el enfoque metodológico. El Lead Time puede examinarse desde múltiples perspectivas: costos asociados, eficiencia operativa, tiempos totales de ciclo, impacto en el nivel de servicio al cliente,

sostenibilidad o incluso tensiones derivadas de intereses entre áreas internas. Además, es fundamental identificar el punto en que una desviación en los tiempos de traslado deja de ser una irregularidad operativa manejable y se transforma en un problema estratégico que compromete la eficiencia, aumenta los costos o afecta de manera significativa la satisfacción y cumplimiento con los clientes. Esta distinción es clave para orientar decisiones y priorizar acciones de mejora dentro del sistema logístico de CCU.

Chapter 4

Objetivos

1. Objetivo General

Evaluar y cuantificar los costos asociados al *Lead Time* en las operaciones de Transporte Primario (T1) de CCU, con el propósito de identificar oportunidades concretas de reducción de gastos logísticos y proponer estrategias de mejora que permitan optimizar la eficiencia económica del sistema de transporte. Este objetivo contempla analizar las distintas dimensiones del costo —directos, indirectos y de oportunidad—, detectar las causas que generan variabilidad en tiempos y proponer lineamientos de acción que, desde una perspectiva estratégica propia de la Ingeniería Comercial, contribuyan a disminuir tiempos, mejorar la asignación de recursos y fortalecer la competitividad global de la cadena de suministro.

2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos definidos en esta investigación cumplen un rol fundamental en la comprensión, cuantificación y abordaje del problema asociado al Lead Time dentro del proceso de transporte de abastecimiento. En conjunto, estos objetivos permiten estructurar el estudio de manera progresiva, avanzando desde el análisis del impacto económico del fenómeno hasta la formulación de propuestas concretas de mejora operativa, asegurando tanto rigor analítico como aplicabilidad práctica de los resultados.

El primer objetivo, orientado a **analizar la relación entre el Lead Time y los costos operativos**, resulta esencial para establecer la relevancia económica del problema estudiado. En el contexto de la gestión de la cadena de suministro, el tiempo constituye un factor crítico que incide directamente en el uso de recursos, la eficiencia operativa y los costos asociados al transporte y a la operación logística. A través de este objetivo, el Lead Time deja de ser abordado únicamente como un indicador temporal y pasa a ser analizado como una variable estratégica con impacto financiero, permitiendo cuantificar cómo las demoras, extensiones de tiempo y desviaciones del proceso influyen en el costo total de la operación. Este análisis proporciona el sustento técnico necesario para justificar la intervención del proceso desde una perspectiva económica y de eficiencia.

El segundo objetivo, enfocado en **identificar brechas, niveles de variabilidad y costos evitables asociados al Lead Time**, profundiza el diagnóstico del problema, permitiendo descomponer el comportamiento del tiempo a lo largo del proceso logístico. La variabilidad en los tiempos de operación representa una de las principales fuentes de ineficiencia en sistemas logísticos, ya que genera incertidumbre, sobrecostos y pérdida de ca-

pacidad operativa. Mediante este objetivo, se busca distinguir entre tiempos estructurales e inevitables del proceso y aquellos que responden a ineficiencias operativas, fallas de coordinación o prácticas no estandarizadas. Este enfoque permite detectar oportunidades concretas de mejora, focalizando el análisis en aquellos tramos, rutas o etapas del proceso donde se concentran las mayores desviaciones y costos potencialmente evitables.

Finalmente, el tercer objetivo, orientado a **proponer estrategias concretas de optimización del Lead Time**, cumple la función de traducir los hallazgos analíticos en acciones prácticas de mejora. A partir de la evidencia obtenida en los objetivos anteriores, se formulan propuestas orientadas al rediseño del proceso, la reducción de tiempos improductivos, la disminución de la variabilidad y la mejora en la planificación y coordinación operativa. Estas estrategias se desarrollan en coherencia con los marcos teóricos revisados y con las restricciones reales del sistema logístico analizado, permitiendo estimar impactos potenciales en términos de eficiencia y reducción de costos. De esta forma, la investigación no solo contribuye al diagnóstico del problema, sino que también entrega lineamientos aplicables para la toma de decisiones y la mejora continua del proceso logístico.

Chapter 5

Marco Teórico

1. Conceptos Relevantes

La gestión logística se entiende como el proceso orientado a planificar, ejecutar y controlar el flujo eficiente de bienes, información y recursos desde el origen hasta el destino final. Su objetivo es satisfacer la demanda al menor costo posible y con un nivel de servicio adecuado, coordinando actividades de transporte, almacenamiento, abastecimiento y distribución (University of North Texas, 2025). Dentro de esta lógica, el transporte ocupa un rol estructural, ya que determina la velocidad del flujo físico y condiciona el desempeño operativo de toda la cadena.

El *Lead Time* se define como el intervalo de tiempo total que transcurre desde que se inicia una solicitud o requerimiento dentro de un sistema hasta que este se completa y se encuentra disponible para su uso o entrega. Desde la perspectiva de la gestión de operaciones, el Massachusetts Institute of Technology (MIT), a través de su Center for Transportation & Logistics, define el Lead Time como “*the elapsed time between the release of an order and its completion, encompassing all processing, waiting, transportation and handling activities involved in the flow*” (MIT Center for Transportation & Logistics, 2015)

La **distancia por tramo** es ampliamente reconocida como una variable crítica en el análisis del transporte, ya que influye directamente en los costos variables, el consumo energético y la eficiencia del uso de la flota. Rodrigue, Comtois y Slack destacan que la longitud del trayecto determina economías de escala, niveles de ocupación y la variabilidad del tiempo de viaje, generando comportamientos operativos diferenciados entre rutas cortas y largas (Rodrigue et al., 2020). Asimismo, el MIT Center for Transportation & Logistics señala que la segmentación de rutas por distancia permite identificar patrones heterogéneos de desempeño y constituye una base sólida para el diseño de políticas de transporte más eficientes (MIT Center for Transportation & Logistics, 2015).

Asimismo, las horas por tramo permiten evaluar la eficiencia operativa del movimiento, ya que la relación distancia–tiempo es utilizada en la literatura como un **indicador cuantitativo de desempeño del transporte terrestre**, reflejando condiciones de congestión, confiabilidad operativa y productividad del recorrido (Rodrigue et al., 2020)

La ocupación del camión, usualmente medida en pallets transportados, constituye una variable clave en la eficiencia del transporte, ya que define el grado en que los costos fijos del movimiento —flota, personal y gestión— se distribuyen sobre la carga movilizada. Bowersox, Closs y Cooper señalan que una baja utilización de capacidad incrementa significativamente el costo unitario del transporte y suele estar asociada a despachos urgentes,

falta de consolidación y deficiencias en la planificación logística (Bowersox et al., 2013).

Finalmente, el valor neto del movimiento representa el costo económico del transporte, sintetizando el efecto conjunto de distancia, tiempo, ocupación y tarifas. Sheffi señala que el análisis integrado de estas variables permite identificar **ineficiencias estructurales**, como despachos urgentes, baja utilización de capacidad y variabilidad operativa, siendo un enfoque clave para evaluar la eficiencia real de los sistemas logísticos (Sheffi, 2012)

En conjunto, estos elementos conceptuales proporcionan el marco para analizar el **Transporte Primario (T1)** desde una perspectiva integral, permitiendo comprender cómo la interacción entre los **tiempos operativos**, el **nivel de ocupación de la carga**, la **distancia recorrida** y la **variabilidad del proceso** impacta directamente en el **costo total del transporte**. Este enfoque no solo facilita la identificación de ineficiencias operativas, sino que también permite evaluar el desempeño del abastecimiento interno en términos de uso de recursos, confiabilidad y estabilidad del sistema logístico, entregando una base sólida para el diagnóstico y la toma de decisiones orientadas a la mejora continua.

2. Antecedentes Generales

Para fundamentar el análisis del Transporte Primario (T1) es crucial incluir tres visiones complementarias y fundamentales de la cadena de abastecimiento, considerando las siguientes literaturas:

2.A. Administración de la cadena de suministro (Sunil Chopra, Peter Meindl)

Cómo funciona la cadena de abastecimiento . La cadena de abastecimiento funciona como un sistema integrado que coordina **todas las actividades necesarias para transformar materias primas en productos terminados y entregarlos al cliente final**. Según Chopra y Meindl, la cadena incluye a proveedores, fabricantes, centros de distribución, transportistas, minoristas y consumidores, quienes interactúan mediante flujos de productos, información y finanzas **Chopra (2008)**. Su funcionamiento se basa en la sincronización entre estas etapas para asegurar que los bienes se muevan de manera eficiente, oportuna y al menor costo posible. Este enfoque sistémico implica que las decisiones tomadas en un punto de la cadena afectan a toda la red, por lo que una adecuada coordinación y visibilidad es fundamental para evitar ineficiencias, quiebres de stock o aumentos innecesarios en los tiempos de respuesta.

Propósito de la cadena de abastecimiento . El objetivo principal de la cadena de abastecimiento es **maximizar el valor total generado**, lo que implica satisfacer la demanda del cliente con el mejor nivel de servicio posible, pero utilizando el mínimo costo global para toda la red. Chopra y Meindl señalan que este valor se determina por la diferencia entre lo que el cliente está dispuesto a pagar y el costo que incurre la cadena para atender esa demanda **Chopra (2008)**. Para lograrlo, las organizaciones deben equilibrar decisiones estratégicas, tácticas y operativas, gestionando inventarios, transporte, capacidad productiva y recursos logísticos de manera coordinada. Una cadena que crea valor no solo entrega productos, sino que reduce incertidumbre, mejora la disponibilidad y asegura una operación estable, flexible y eficiente.

Papel del transporte y cómo optimizarlo dentro del propósito de la cadena . El transporte cumple un rol central en la cadena de abastecimiento al **conectar físicamente las distintas etapas y determinar los tiempos de respuesta**, el costo logístico total y la confiabilidad del servicio. Chopra y Meindl destacan que un transporte eficaz permite cumplir la promesa de disponibilidad y servicio al cliente, mientras que una operación ineficiente puede incrementar costos, reducir la capacidad de respuesta y generar variabilidad operacional **Chopra (2008)**. Para optimizar el transporte, los autores señalan la importancia de seleccionar modos adecuados, consolidar cargas, planificar rutas eficientes, definir frecuencias óptimas, gestionar tiempos muertos, coordinar entregas y utilizar información en tiempo real para apoyar la toma de decisiones. Un transporte bien gestionado no solo reduce costos, sino que también mejora la estabilidad de la cadena, disminuye la variabilidad de los tiempos y soporta el cumplimiento del propósito global de la cadena de abastecimiento: entregar valor de forma eficiente, confiable y sostenible.

2.B. Logistics and Supply Chain Managment (Martin Christopher)

¿ Que es la cadena de abastecimiento ?. Según Martin Christopher, la cadena de abastecimiento debe entenderse como una **red de organizaciones y procesos interrelacionados** cuyo objetivo es gestionar de forma integrada los flujos de materiales, información y recursos financieros desde los proveedores hasta el cliente final **Christopher (1992)**. En su propuesta, la cadena no opera como una secuencia lineal, sino como un **sistema completo**, donde la eficiencia depende de la capacidad de coordinar actores dispersos y actividades diversas. Christopher enfatiza que la logística no es solamente una función operativa, sino un mecanismo integrador que permite reducir la complejidad del flujo de productos y asegurar que la red opere de manera cohesiva (Capítulo 1).

Propósito de la cadena de abastecimiento. Para Christopher, el propósito central de la cadena de abastecimiento es **maximizar el valor para el cliente al menor costo total posible**, lo que implica equilibrar servicio, costo y tiempo en toda la red logística **Christopher (1992)**. El autor plantea que las empresas ya no compiten como entidades aisladas, sino como **cadenas de suministro completas**, y que la ventaja competitiva surge de la capacidad de estas cadenas para ser más rápidas, confiables y eficientes que sus competidores (Capítulo 2). Esto exige reducir la variabilidad, mejorar la coordinación y adoptar un enfoque sistémico en la toma de decisiones.

Cómo el transporte primario cumple el propósito de la cadena de abastecimiento . En este marco, Christopher describe el transporte como un **componente crítico** que determina el desempeño general de la cadena al conectar físicamente las etapas productivas, reducir el tiempo de ciclo y mejorar la disponibilidad del producto **Christopher (1992)**. El transporte primario, en particular, contribuye a cumplir el propósito de la cadena cuando es gestionado mediante prácticas como la **planificación eficiente de rutas**, la **consolidación de carga**, la **reducción de tiempos improductivos** y el uso de información confiable para coordinar entregas y programaciones. Estas acciones permiten disminuir costos, reducir la variabilidad y asegurar que el flujo de productos avance de manera continua y predecible, generando un impacto directo en la efectividad del servicio logístico (Capítulo 3).

2.C. SCOR Digital Standar (El modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro)

Cómo funciona la cadena de abastecimiento

El modelo SCOR DS describe la cadena de abastecimiento como un **sistema estructurado de procesos estandarizados**, que permite modelar, medir y mejorar el desempeño de cualquier red logística. En su marco conceptual, toda cadena opera a través de seis macroprocesos: **Plan, Source, Make, Deliver, Return y Enable**, los cuales coordinan los flujos de demanda, inventario, producción, transporte y soporte operacional **ASCM (2022)**. SCOR establece relaciones claras entre procesos, métricas y prácticas, permitiendo entender cómo las actividades se conectan y cómo su desempeño impacta en la cadena completa. Esto convierte al modelo en una herramienta esencial para visualizar la cadena como un sistema interdependiente y orientado al desempeño.

Propósito de la cadena de abastecimiento . El propósito central de la cadena de abastecimiento en SCOR DS es **lograr un desempeño superior y sostenido**, equilibrando métricas clave como **confiabilidad, capacidad de respuesta, agilidad, costo y eficiencia en el uso de activos** **ASCM (2022)**. SCOR define estos atributos como los pilares de la propuesta de valor de la cadena, y establece métricas jerárquicas que permiten diagnosticar brechas, monitorear procesos y habilitar mejoras continuas. Su enfoque enfatiza que la cadena debe ser capaz de entregar el producto correcto, en el lugar correcto, en el momento adecuado, con el menor costo total y con la flexibilidad suficiente para adaptarse a cambios en la demanda o en el entorno.

Cómo el transporte en abastecimiento cumple ese propósito . Dentro del modelo SCOR DS, el transporte se integra principalmente en los procesos **Deliver** y **Source**, actuando como el mecanismo que permite **mover inventario de manera confiable, rápida y eficiente** entre las distintas etapas de la cadena. El marco destaca que la efectividad del transporte se mide mediante indicadores como **tiempo de ciclo, cumplimiento de entregas, costo logístico, utilización de activos y variabilidad del flujo**, todos fundamentales para sostener la confiabilidad y capacidad de respuesta del sistema **ASCM (2022)**. SCOR subraya que un transporte bien planificado —con rutas adecuadas, consolidación óptima, coordinación con proveedores y baja variabilidad— es crítico para cumplir el propósito de la cadena, ya que reduce costos, mejora tiempos y asegura estabilidad operacional.

2.D. En síntesis

Chopra y Meindl entregan una mirada estratégica y estructurada de la supply chain, explicando cómo las decisiones de diseño, planificación y coordinación determinan el costo total y el nivel de servicio, lo que los convierte en una de las fuentes académicas más utilizadas a nivel mundial. **Martin Christopher** aporta una visión orientada a la competitividad, destacando la logística integrada como un factor clave para diferenciarse en mercados dinámicos; su enfoque en la reducción de variabilidad y en la creación de valor lo posiciona como un referente esencial en gestión logística. Por último, el estándar **SCOR DS** es importante porque ofrece un modelo formal y universalmente adoptado para mapear, medir y mejorar procesos de la cadena de abastecimiento, permitiendo comparar desempeño y estructurar iniciativas de optimización. Juntos, estos textos proporcionan las bases conceptuales y metodológicas más sólidas para analizar y mejorar cualquier sistema logístico moderno.

3. Evidencia Empírica

El sector de transporte y almacenamiento en Chile es un componente fundamental de la economía nacional y constituye la columna vertebral del abastecimiento interno. De acuerdo con la CNDC (2025), **el transporte terrestre moviliza cerca del 95 % de las mercancías del país, equivalente a aproximadamente 700 millones de toneladas anuales**, lo que evidencia la enorme dependencia del país respecto de la operación eficiente de camiones y centros logísticos. En este contexto, cualquier ineficiencia en tiempos de espera, carga, descarga o tránsito tiene un impacto directo en la continuidad de las cadenas de suministro.

A nivel económico, el transporte de carga por carretera es un mercado de alto dinamismo. Mordor Intelligence (2024) estima que este segmento **alcanza los USD 10,77 mil millones** y que crecerá hasta USD 13,89 mil millones hacia 2030, con una tasa anual compuesta del 5,69 %. Este crecimiento refleja un incremento sostenido en la demanda de servicios logísticos y, al mismo tiempo, una presión creciente por mejorar la eficiencia operativa para contener costos y garantizar el nivel de servicio. En un sector tan grande, incluso mejoras marginales en los tiempos del transporte pueden generar efectos significativos a nivel financiero y operativo.

La importancia de medir y gestionar los tiempos logísticos también ha sido reconocida a nivel institucional. En 2024, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones lanzó una plataforma nacional que recopila información sobre **velocidades promedio, tiempos de detención y características operativas de los viajes de carga en 344 comunas del país** (MTT, 2024). Esta iniciativa confirma que la eficiencia del transporte —especialmente en lo referido a tiempos de desplazamiento y detención— es un desafío prioritario para la política pública, y que la visibilidad de datos operativos es esencial para mejorar el desempeño del sector.

A ello se suma la magnitud del ecosistema logístico chileno. Según el Observatorio Logístico (2023), **existen 92.404 empresas con actividad económica relacionada a la logística**, lo que demuestra que el sector es amplio, competitivo y altamente interdependiente. En un entorno donde miles de empresas participan en actividades de transporte, distribución, almacenamiento y servicios complementarios, los tiempos operativos se convierten en un factor crítico que determina la continuidad de la cadena y el costo total de operación.

En conjunto, estos antecedentes **sustentan el foco del presente estudio**, orientado a analizar y medir los tiempos del **Transporte Primario (T1) en CCU**, incorporando indicadores como **Lead Time y tiempos operativos de carga, descarga y retención**. La evidencia disponible indica que la **eficiencia temporal del transporte** constituye un desafío recurrente en el contexto chileno, existe un **déficit en la medición sistemática de tiempos operativos interempresa** y que la mejora de estos indicadores genera **impactos directos en costos, planificación y nivel de servicio** dentro de la cadena de suministro.

Coca-Cola Ícecek (CCI), una de las principales embotelladoras de Coca-Cola a nivel global con operaciones en 12 países, desarrolló entre **2022 y 2023** un proyecto de optimización de su red de abastecimiento mediante la implementación de un **modelo de gemelo digital**, ejecutado junto a **Phoenix Analytics** y la plataforma **anyLogistix**.

El proyecto tuvo como objetivo **modernizar la planificación logística**, sustituyendo procesos manuales por un sistema avanzado de **simulación y optimización del trans-**

porte, lo que permitió reducir significativamente los tiempos de análisis —de días a minutos— y mejorar la calidad de los escenarios logísticos al incorporar restricciones de rutas, capacidades y decisiones de red.

Los resultados evidenciaron una **mayor precisión en la toma de decisiones**, particularmente en la asignación de flota y la planificación estratégica del transporte, junto con **mejoras en costos y Lead Time** derivadas de la automatización y eliminación de ineficiencias operativas.

Este caso constituye una **referencia directa para el presente estudio**, ya que demuestra que, en el **sector bebidas —comparable a CCU—**, la optimización del transporte y de la planificación de la red, apoyada en **datos, visibilidad y herramientas de simulación**, permite mejorar de forma sustancial la **eficiencia, estabilidad operativa y capacidad de respuesta del transporte primario**.

Artículo: [anyLogistix, 2023](#)

Varun Beverages, uno de los mayores embotelladores de PepsiCo a nivel mundial, implementó en 2025 un proyecto de optimización de su cadena de transporte con el apoyo de la plataforma Shiperone. La empresa enfrentaba problemas de visibilidad operacional, trazabilidad de flota, procesos manuales y complejidad del transporte multimodal en países asiáticos y africanos.

La solución incorporó monitoreo en tiempo real de vehículos, digitalización completa de documentos de transporte, optimización de rutas y automatización de procesos logísticos. Esto permitió mejorar el control sobre tiempos de tránsito, reducir ineficiencias en la coordinación de flota y aumentar la confiabilidad del servicio.

Los informes señalan mejoras directas en costos operativos, productividad del transporte y reducción de tiempos asociados a procesos manuales y esperas en puntos operacionales.

Este caso es relevante como referencia, ya que demuestra que las embotelladoras internacionales optimizan activamente su transporte primario y secundario mediante herramientas de visibilidad, digitalización y automatización, lo cual es comparable al desafío de CCU para reducir tiempos operativos como el Lead Time y el Truck Retention Time.

Artículo: [Shiperone, 2025](#)

En 2025, **Averitt Express** ejecutó un proyecto de optimización logística para un distribuidor de **cerveza y bebidas** en Estados Unidos, enfrentando problemas de **ineficiencia en rutas, altos costos de transporte y descoordinación operativa**. La intervención se centró en **rediseño de rutas, implementación de cross-docking, uso de flota dedicada y optimización de los procesos de carga y descarga**, lo que permitió **reducir costos, mejorar la eficiencia del transporte y acelerar los ciclos de entrega**, fortaleciendo la capacidad de respuesta del sistema logístico.

Entre los principales efectos se observó una **reducción de los tiempos de tránsito**, una **mayor estabilidad en la cadena de transporte**, un **uso más eficiente de la flota** y un **mejor nivel de servicio**, reflejado en entregas más puntuales y planificadas. Este caso resulta directamente comparable a **CCU**, al pertenecer al sector bebidas y evidenciar que un enfoque integral del transporte —basado en el rediseño de procesos, rutas y operaciones de carga— permite **mejorar el desempeño logístico, reducir costos y estabilizar la operación**.

Artículo: [Averitt Express, 2025](#)

Chapter 6

Metodología

1. Hipótesis de la Investigación

Se espera encontrar una **relación significativa entre el Valor Neto del transporte y el Lead Time**, donde mayores desviaciones en el tiempo efectivo del tramo se asocien a **incrementos en el costo final del viaje**, especialmente en aquellos casos donde existen pedidos de baja carga o comportamientos operativos ineficientes. La identificación de esta relación permitiría comprender cómo la variabilidad del Lead Time impacta económicamente al Transporte Primario (T1) y, en consecuencia, **optimizar procesos, reducir tiempos improductivos y definir estrategias de disminución de costos** basadas en patrones reales del comportamiento de los datos. Bajo esta hipótesis, se prevé que una gestión más controlada y eficiente del Lead Time contribuya a **reducir el Valor Neto promedio**, mejorar la estabilidad operativa y fortalecer el nivel de servicio.

2. Diseño de la Investigación

Explicar el tipo de estudio (descriptivo, exploratorio, etc.). La presente investigación se clasifica como un estudio descriptivo-analítico con componentes explicativos, orientado a comprender de manera sistemática el desempeño del Transporte Primario (T1) dentro del sistema logístico de CCU. Desde la perspectiva del Supply Chain Management, el transporte constituye uno de los drivers centrales del desempeño global, ya que influye en los costos, la capacidad de respuesta, la estabilidad del flujo y la disponibilidad en los centros de distribución. Por ello, este estudio se focaliza en medir, caracterizar y analizar las principales variables que determinan la eficiencia del T1: distancia, tiempos operativos, horas por tramo, ocupación del camión y valor económico movilizado. La dimensión descriptiva se refleja en la cuantificación y documentación de estos indicadores mediante análisis exploratorio de datos (EDA), lo que permite identificar patrones, distribuciones, tendencias y anomalías en un conjunto de más de un millón de registros históricos provenientes de sistemas corporativos como SAP y TMS.

El estudio adquiere un carácter analítico al examinar las relaciones funcionales entre estas variables, evaluando cómo la variabilidad temporal, la baja consolidación de carga, la distancia y los tiempos de espera contribuyen al costo total del transporte y al desempeño operativo. Desde el enfoque logístico, este análisis permite identificar cuellos de botella, ineficiencias estructurales y condiciones que afectan la utilización de flota y la continuidad del abastecimiento. Asimismo, la investigación incorpora una dimensión explicativa, en tanto

busca comprender qué factores operativos generan sobre costos, cuáles afectan la predictibilidad del Lead Time y cómo ciertas combinaciones de tiempos y ocupación deterioran la eficiencia de la red interna. Esta mirada es coherente con el rol del área logística dentro de la supply chain, cuyo objetivo es asegurar flujos confiables, minimizar desperdicios y alcanzar niveles de servicio que soporten la operación total de la empresa.

Un componente metodológico central es la aplicación de estadística multivariada mediante el algoritmo de clustering K-means, ampliamente utilizado en el ámbito logístico para segmentar rutas, clasificar patrones operativos y diferenciar comportamientos complejos dentro de grandes volúmenes de datos. En este estudio, K-means permite agrupar rutas según su distancia, horas de viaje, ocupación y valor neto, identificando segmentos homogéneos que comparten condiciones similares de eficiencia o ineficiencia. Esta técnica aporta una visión estructurada del comportamiento del transporte, permitiendo detectar clusters asociados a sobre costos, baja utilización de capacidad, variabilidad excesiva o comportamientos operativos anómalos. Su incorporación es particularmente relevante porque facilita la interpretación de patrones que no son evidentes mediante análisis univariados y aporta una base analítica más robusta para orientar decisiones de mejora dentro del área logística.

Finalmente, este diseño metodológico combina de manera integrada:

análisis descriptivo, necesario para comprender el estado actual del T1;

análisis analítico-explicativo, que permite entender las interacciones entre variables operativas clave; y

estadística aplicada mediante clustering, que da profundidad y estructura a la evaluación de la eficiencia logística. En conjunto, esta investigación no solo describe el funcionamiento del Transporte Primario, sino que también identifica las causas operativas de los problemas, cuantifica su impacto y establece una base objetiva para proponer mejoras que aumenten la eficiencia en operaciones y fortalezcan el desempeño global de la cadena de abastecimiento de CCU.

3. Fuentes de Datos

La información utilizada en esta investigación proviene directamente de los registros operativos de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU), específicamente del módulo logístico de **Transporte Primario (T1)** dentro del sistema corporativo **SAP**. Esta plataforma concentra en tiempo real los movimientos asociados a las **Órdenes de Carga (OCA)**, que constituyen la unidad operativa fundamental del transporte interno de la compañía.

Cada OCA representa un **tramo de transporte** realizado por un camión entre un centro origen y un centro destino, incluyendo información de distancia, tiempos de ejecución y el costo logístico asociado al movimiento. En total, la base analizada contiene más de **1,18 millones de registros**, abarcando rutas nacionales y algunos movimientos internacionales (posteriormente filtrados mediante la variable *Clave de país/región*). La base también incluye traslados internos sin costo asociado, que corresponden a movimientos contables o administrativos y fueron excluidos del análisis.

Estas OCAs permiten reconstruir el comportamiento real del transporte: cuándo inicia un viaje, cuánto dura, cuánto cuesta mover un producto entre centros y qué tan eficiente es la operación según distancia, carga transportada y tipo de ruta. Por lo tanto, esta base de

datos constituye una representación directa del desempeño operativo del sistema T1 a nivel nacional.

La base original contiene 42 campos de variables, las cuales hacen referencia a la operación de transporte y a las operaciones, tal como se resume en la Figura 6.1.

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS	
Sociedad	Clase de movimiento
Descripción sociedad	Cantidad Entrega
Fecha	Cantidad Pallet
Periodo (año, mes)	Factor Pallet
Centro Origen	Tarifa cobro UEN
Descripción Centro Origen	Valor Neto
Centro Destino	OCA(Orden de Carga)
Descripción Centro Destino	Nº de transporte
Ruta	Stat.global transp.
Descripción Ruta	Transportista
Distancia	Suplemento 1
Distancia UM	Suplemento 2
Pedido de traslado	Inic.actual transp.
Entrega	Hora act.in.transp.
Guías despacho	Fin act.transporte
Grupo de artículos	Hora act.fin transp.
Material	Id.1 / OCA
Texto breve material	Descripción transportista
Documento Material Recepción	Clave de país/región
Usuario Doc. Material Recepción	Contador
Fecha Doc. Material Recepción	Denominador

Figure 6.1. Vista general de datos utilizados

Fuente: Elaboración propia.

Variables seleccionadas

Para los fines del estudio se seleccionaron únicamente las variables esenciales para estimar **Costos, Tiempos, Distancias por tramo y Cantidad Pallet**, los cuales son los ejes centrales del análisis.

Las variables utilizadas fueron:

- **Fecha**
- **Descripción Centro Origen**
- **Descripción Centro Destino**
- **Descripción Ruta**
- **Distancia**
- **Distancia UM**
- **Cantidad Pallet**
- **Valor Neto**
- **Inic.actual transp.**
- **Hora act.in.transp.**
- **Fin act.transporte**
- **Hora act.fin transp.**
- **Descripción transportista**
- **Clave de país/región**

Estas variables resultan de utilidad, debido a que permiten:

- Identificar correctamente cada tramo ejecutado.
- Calcular su **duración real** (horas por tramo).
- Determinar su **costo operativo** (valor neto).
- Medir su **extensión física** (distancia en kilómetros).
- Filtrar movimientos no relevantes o externos a Chile.

El resto de los campos fue eliminado por no aportar valor al análisis, ya que introducen ruido y complejidad innecesaria sin contribuir a los objetivos del estudio.

4. Procedimiento de Recolección de Datos

La base de datos empleada en esta investigación corresponde a un **registro operativo real** generado en el contexto del **Transporte Primario (T1)** de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU). Cada fila de la base representa una **Orden de Carga (OCA)**, que es el documento formal mediante el cual se solicita y se controla el traslado de productos entre los distintos centros logísticos, plantas productivas y bodegas de la compañía. En términos prácticos, cada OCA refleja un tramo concreto realizado por un camión dentro de la red logística de CCU, dejando evidencia del recorrido, la carga transportada y el comportamiento del viaje desde su inicio hasta su finalización.

Estas OCAs se generan en el momento en que un centro requiere mover inventario hacia otro punto de la red. Un operario completa el documento con la información básica del traslado, como el centro de origen, el centro destino, la ruta correspondiente y la cantidad de pallets a transportar. Una vez ingresada al sistema, la OCA queda registrada en el entorno corporativo de SAP, permitiendo su trazabilidad durante toda la operación. A partir de este punto, el sistema y los actores involucrados van agregando información relevante a medida que la operación avanza.

La base contiene diversos atributos que describen la operación logística de manera integral. Entre las variables más importantes se encuentran la **distancia registrada para el tramo**, la **cantidad de pallets transportados**, el **valor neto asociado al movimiento**, y los **centros involucrados**. Estas variables permiten caracterizar de manera objetiva los principales elementos que influyen en los costos y tiempos del transporte, aportando una visión clara del comportamiento real de la red logística.

Asimismo, la base incorpora los **hitos temporales** que marcan el inicio y la ejecución del viaje. Cuando el camión se encuentra listo para salir del origen, se registra la hora real de inicio de la actividad de transporte. Este registro permite identificar el momento exacto en que el viaje comienza según la operación en terreno. A medida que el camión avanza por la ruta y finalmente llega al centro destino, se procede a descargar la carga; una vez finalizada esta actividad, se ingresa en el sistema la **fecha y la hora de término del transporte**. Este último registro es clave, ya que permite determinar la duración total del tramo y cerrar formalmente la operación en el sistema.

Aunque la base contiene una variedad de atributos administrativos y de control interno, esta investigación se enfoca en los datos que mejor representan el desempeño logístico: **distancias, tiempos y costos por tramo**, junto con información contextual como ruta, centros y carga transportada. Estos elementos son suficientes para reconstruir el comportamiento operativo del transporte, identificar patrones y analizar cómo la ocupación, la distancia o la estabilidad de los tiempos influyen en la eficiencia del sistema.

En conjunto, la base de OCAs constituye un reflejo directo del funcionamiento diario del Transporte Primario de CCU. Su carácter operativo —basado en datos reales de la ejecución del transporte— le otorga un alto valor para el análisis, ya que no depende de percepciones ni estimaciones, sino de registros sistemáticos de cada viaje realizado. Gracias a ello, es posible estudiar con precisión los comportamientos habituales, las desviaciones, las ineficiencias y las oportunidades de mejora en la gestión logística.

5. Diseño de la Muestra

La población utilizada en este estudio corresponde al universo completo de **Órdenes de Carga (OCA)** registradas en el sistema SAP de CCU durante el período analizado, considerando 1,308,309 registros. Cada OCA representa un viaje real dentro del Transporte Primario (T1), describiendo la ruta, la carga transportada, los centros involucrados y los hitos operativos del movimiento. Debido a que se trabaja con la totalidad de los registros disponibles, no se aplica un muestreo estadístico tradicional, sino que se analiza directamente la población completa.

A continuación, se detallan las transformaciones, depuraciones y criterios de selección empleados para construir el conjunto final de datos utilizado en los análisis.

1. Transformación de fechas y cálculo de horas por tramo

Las columnas de fecha y hora se encontraban registradas de forma separada en el sistema, por lo que fue necesario unificarlas para calcular la duración de cada tramo. Para ello, se realizaron las siguientes operaciones:

1. Concatenación de la fecha y la hora de inicio para generar *FechaHora_Inicio*.
2. Concatenación de la fecha y la hora de término para generar *FechaHora_Fin*.
3. Conversión de ambas columnas al formato `datetime`.
4. Cálculo de la duración del viaje mediante la fórmula:

$$\text{Horas por tramo} = \text{FechaHora_Fin} - \text{FechaHora_Inicio}.$$

El resultado se expresa en horas continuas y constituye una de las variables clave para evaluar la estabilidad y eficiencia temporal del transporte.

2. Unificación de la distancia en kilómetros

En la base original, la distancia aparecía dividida en dos columnas: un valor numérico y una unidad de medida (K, KM, Km, etc.). Para trabajar bajo un estándar consistente, se procedió a:

- Estandarizar todas las unidades en kilómetros.
- Homogeneizar la nomenclatura de la unidad de medida.
- Generar una única variable unificada denominada **Distancia_KM**.

Esto permite comparar tramos bajo una misma unidad y evita errores derivados de inconsistencias textuales.

3. Filtrado por país mediante la variable *Clave de país/región*

Dado que el estudio se centra exclusivamente en el transporte nacional, se filtraron únicamente los registros correspondientes a Chile, manteniendo solo las filas donde:

$$\text{Clave de país/región} = \text{"CL"}.$$

Este paso garantiza la homogeneidad del análisis y evita incluir movimientos internacionales con características operativas distintas.

4. Depuración de registros no relevantes

Con el fin de trabajar únicamente con viajes efectivos y medir indicadores significativos, se eliminaron los registros que no representaban operaciones reales o que no aportaban valor analítico. Se excluyeron:

- **Distancia_KM = 0**: registros internos dentro del mismo centro o errores de ingreso.
- **Valor Neto = 0**: movimientos sin costo asociado, no relevantes para la estimación económica del transporte.
- **Horas por tramo = 0**: viajes sin duración registrada, considerados inconsistencias operativas.

Estos filtros permiten obtener un conjunto de datos limpio, coherente y adecuado para modelar el comportamiento logístico real.

5. Resultado del proceso

En conjunto, estos conceptos permiten estructurar el análisis del **Transporte Primario (T1)** desde una perspectiva integral, considerando cómo la interacción entre los **tiempos operativos**, la **ocupación de carga**, la **distancia recorrida** y la **variabilidad del proceso** incide en el **costo total del transporte** y en el desempeño del abastecimiento interno. **Los resultados derivados de este análisis serán desarrollados y discutidos en el Capítulo 7**, donde se examinan en detalle los patrones identificados y su implicación operativa para la eficiencia del sistema logístico.

6. Procesamiento y Análisis de Datos

Para el desarrollo del análisis cuantitativo se empleó **Python** como plataforma principal de análisis, dada su versatilidad y robustez para el tratamiento de grandes volúmenes de datos y la aplicación de técnicas estadísticas y analíticas en contextos logísticos. El proceso se estructuró como un **flujo metodológico secuencial y reproducible**, apoyado en un conjunto de librerías especializadas que permitieron abordar cada etapa del análisis de manera ordenada y coherente con los objetivos del estudio.

En una primera etapa, la librería **pandas** fue utilizada para la **limpieza, depuración y preparación de la base de datos**, etapa crítica considerando el origen operativo de la información. En esta fase se eliminaron registros inconsistentes, se filtraron observaciones no representativas del fenómeno de estudio y se realizaron transformaciones necesarias sobre las variables, tales como la estandarización de formatos, la conversión de tipos de datos y la construcción de variables derivadas. Este trabajo permitió asegurar la **calidad, consistencia y trazabilidad** de la información, estableciendo una base confiable para los análisis posteriores.

Una vez estructurado el dataset, se desarrolló un **Análisis Exploratorio de Datos (EDA)** con el apoyo de **pandas**, **matplotlib** y **seaborn**, cuyo objetivo fue comprender la distribución, dispersión y relaciones iniciales entre las principales variables del estudio. Este análisis incluyó la caracterización estadística descriptiva de variables como **horas por tramo, distancia recorrida, valor neto y carga transportada**, así como la generación de visualizaciones gráficas que permitieron examinar patrones generales, tendencias preliminares y posibles anomalías. En particular, se analizaron relaciones bivariadas —como horas por tramo versus valor neto— con el fin de identificar indicios de ineficiencias operativas y comportamientos atípicos en el transporte.

Con una comprensión inicial del comportamiento de los datos, se procedió a la aplicación de técnicas de **segmentación mediante clustering**, utilizando el algoritmo **K-means** a través de la librería **scikit-learn**. Esta técnica permitió agrupar las rutas en conjuntos homogéneos en función de la **distancia recorrida**, variable considerada estructural en el desempeño del transporte. Para garantizar una segmentación adecuada, el número óptimo de clústeres se evaluó utilizando de manera complementaria las métricas **Inertia**, asociada al método del codo, y **Silhouette Score**, que mide la cohesión interna y separación entre los grupos. Los resultados de estas métricas fueron analizados mediante gráficos comparativos, lo que permitió seleccionar una solución de clustering consistente y estadísticamente justificada.

Definidos los clústeres, se llevó a cabo un **EDA específico por grupo**, orientado a identificar patrones diferenciados en el comportamiento operativo de cada segmento de rutas. Este análisis permitió examinar cómo variables como **tiempos de traslado, valor neto y nivel de ocupación de carga** se comportan de manera distinta según la distancia del tramo, aportando una visión más detallada y segmentada del desempeño logístico. La comparación entre clústeres facilitó la identificación de aquellos grupos con mayor variabilidad o mayor impacto económico, constituyendo una base para el análisis de oportunidades de mejora.

Finalmente, se desarrolló un **análisis temporal del comportamiento mensual** de cada clúster, nuevamente utilizando **pandas**, **matplotlib** y **seaborn**, con el objetivo de identificar **tendencias, estacionalidades y patrones de variabilidad operativa** a lo largo del período de estudio. Este análisis permitió observar cómo las horas por tramo, el

valor neto y la cantidad de pallets transportados evolucionan en el tiempo y cómo estos comportamientos difieren entre grupos de rutas. En conjunto, este enfoque metodológico integró análisis descriptivo, segmentación y análisis temporal, proporcionando una base sólida para la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones orientadas a la mejora del desempeño del Transporte Primario.

Chapter 7

Resultados

1. Introducción al Análisis Exploratorio de Datos (EDA)

El **Análisis Exploratorio de Datos (EDA)** corresponde a la etapa inicial del estudio cuantitativo y tiene como objetivo comprender la estructura, calidad y comportamiento general de las variables analizadas. A través de estadísticas descriptivas y visualizaciones básicas, el EDA permite identificar **tendencias, dispersiones, asimetrías, valores atípicos y relaciones preliminares**, elementos fundamentales para orientar decisiones posteriores en el análisis.

En el contexto logístico, el EDA es clave porque las operaciones de transporte presentan una naturaleza altamente variable: diferencias geográficas, fluctuaciones de demanda, rutas extensas, cargas heterogéneas y tiempos operativos sensibles a múltiples factores. Explorar estos datos desde el inicio entrega una base sólida para detectar inefficiencias, segmentar rutas y fundamentar estrategias de mejora en costos y tiempos.

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Valor Neto	1180453	185762,1	821415,8	0	1173	27145	129999	93500640
Cantidad Pallet	1180453	8,713972	25,93068	0	0,333	2	9	2088
Horas_por_tramo	1180453	26,43802	52,39853	0,001667	4,138889	11,49528	29,7	7723,95
Distancia_KM	1180453	369,4701	515,11	0,001	7,6	108	513	3003

Figure 7.1. Análisis Exploratorio de Datos

Fuente: Elaboración propia.

El conjunto de datos analizado supera **1,18 millones de registros**, lo que proporciona una visión representativa de la operación. Las estadísticas descriptivas muestran comportamientos relevantes:

- **Valor Neto:** presenta alta dispersión y una marcada asimetría positiva. La mayoría de las operaciones se concentran en valores bajos, pero existen viajes de costo muy elevado que empujan la media hacia arriba, señalando la presencia de rutas especiales o pedidos extraordinarios.
- **Cantidad de Pallet:** la mediana es baja en comparación con la media, indicando que gran parte de los viajes transporta poca carga. Esto sugiere baja consolidación en una porción importante de las rutas, elemento crítico para el análisis de eficiencia y costos.

- **Horas por Tramo:** exhibe una gran variabilidad, con casos que van desde minutos hasta varias decenas de horas. Esta dispersión evidencia diferencias sustanciales en la complejidad de las rutas, condiciones operativas y desempeño del transporte.
- **Distancia en Kilómetros:** se observa una amplitud significativa, desde rutas locales hasta trayectos superiores a 3.000 km. Esta heterogeneidad valida la necesidad de segmentar o agrupar las rutas antes de analizar relaciones entre tiempo, distancia y valor neto.

En conjunto, el EDA revela que la operación posee **alta variabilidad** y comportamientos heterogéneos que influyen tanto en los costos como en los tiempos de traslado. Esta comprensión inicial justifica el uso de técnicas de **clustering** para agrupar rutas similares y analizar con mayor precisión cómo las horas por tramo, la carga transportada y la distancia explican el valor neto final y las oportunidades de optimización operativa.

2. Top 20 rutas más frecuentes

El **boxplot** es una herramienta gráfica utilizada para representar la distribución de una variable y su nivel de dispersión. Su estructura se compone de cinco elementos estadísticos: **mínimo**, **primer cuartil (Q1)**, **mediana (Q2)**, **tercer cuartil (Q3)** y **máximo**. La “caja” captura el 50% central de los datos (Q1–Q3), mientras que la línea interna marca la mediana, permitiendo visualizar si la distribución está cargada hacia valores altos o bajos. Las líneas o “bigotes” muestran el rango esperado de variación, y los puntos que quedan por fuera corresponden a **valores atípicos**, indicando observaciones anormalmente altas o bajas.

En operaciones logísticas, esta herramienta permite detectar rutas con tiempos inconsistentes, variabilidad excesiva o eventos que se salen de la normalidad operativa.

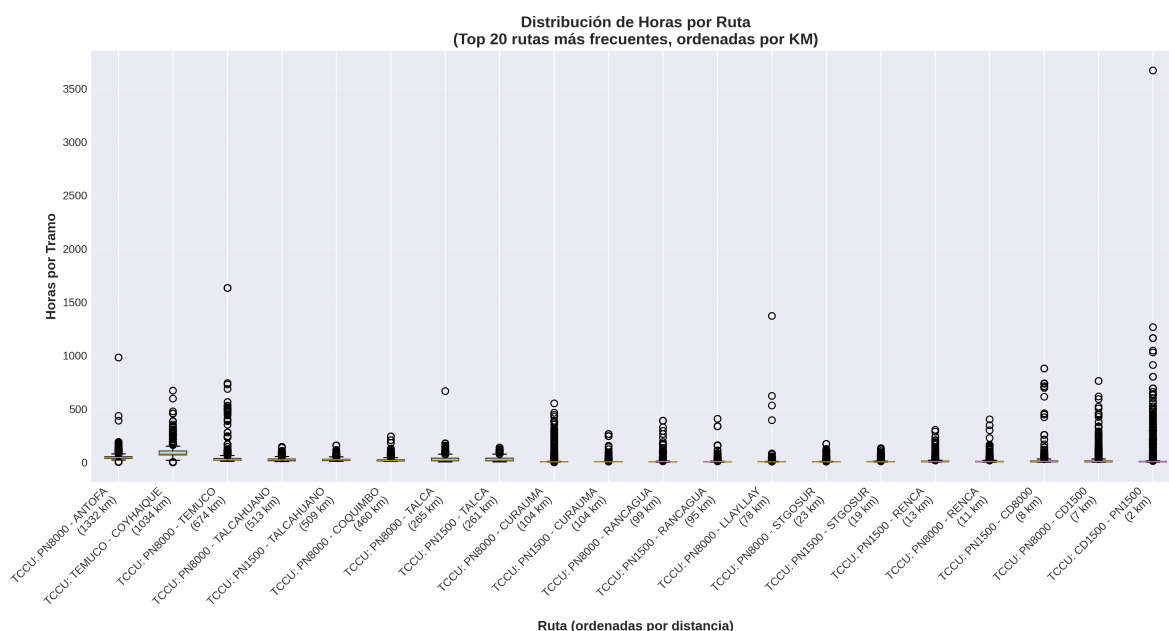


Figure 7.2. Boxplot top 20 Rutas

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la distribución de horas por ruta evidencia que la distancia recorrida, si bien constituye una variable estructural del transporte, no determina por sí sola el comportamiento temporal de las rutas, observándose una alta heterogeneidad en la variabilidad de las horas incluso entre trayectos de kilometraje similar. La presencia de rutas cortas con elevada dispersión y múltiples valores atípicos, así como rutas de mayor distancia con comportamientos temporales más estables, demuestra que la eficiencia operativa responde a factores adicionales asociados a la planificación, coordinación y ejecución del transporte. En este contexto, la segmentación de rutas según su kilometraje permite establecer un marco comparativo homogéneo que facilita la identificación de desviaciones operativas dentro de cada grupo, habilitando una gestión diferenciada del Lead Time y el diseño de estrategias específicas orientadas a reducir la variabilidad y los sobrecostos asociados, en lugar de aplicar medidas generalizadas que no capturan las particularidades de cada tramo.

3. Relación entre Horas por Tramo y Valor Neto

El análisis de dispersión permite evaluar si existe una relación lineal entre las **horas por tramo** y el **valor neto** asociado a cada viaje.

- Podemos ver que la nube de puntos está dominada por viajes de bajo costo y bajo tiempo, dejando el resto comprimido.

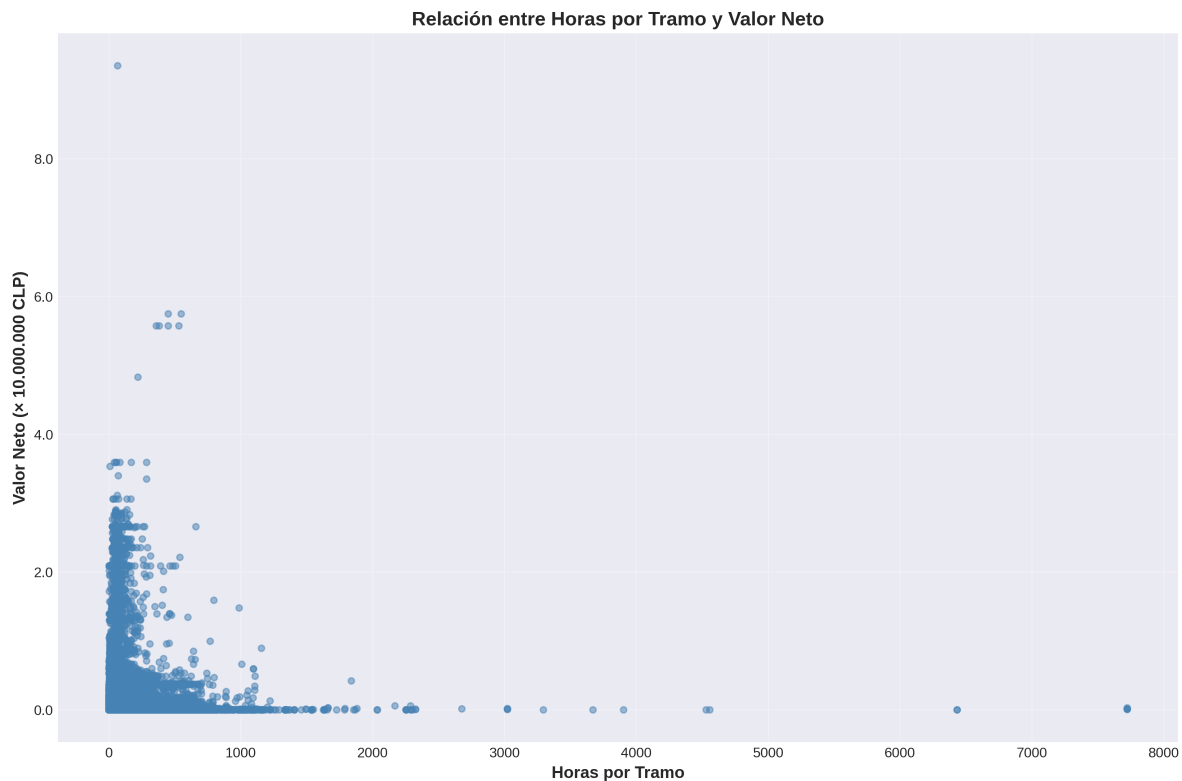


Figure 7.3. Horas vs Valor Neto

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido en el modelo lineal presenta un valor de **0,007**. Esto significa que **solo el 0,7% de la variabilidad del Valor Neto puede ser explicada por las Horas por Tramo**. En términos prácticos, el Lead Time tiene un **efecto estadístico débil** sobre el costo total del viaje, lo que indica que el Valor Neto depende principalmente de otros factores operacionales (distancia, tipo de carga, tarifas base, características del tramo, etc.).

Este comportamiento es propio de operaciones logísticas complejas, donde el valor neto no depende exclusivamente de los tiempos, sino de múltiples componentes estructurales del transporte.

4. Segmentación de Rutas mediante Clustering (K-Means)

Para profundizar en el análisis de la operación y obtener una comprensión más específica del comportamiento de las rutas, es necesario **agrupar las observaciones en conjuntos con características similares**. La alta heterogeneidad observada en distancia, horas por tramo y valor neto hace que analizar las rutas de manera agregada o individual resulte poco eficiente y dificulte la identificación de patrones operativos. Por ello, se emplea la técnica de **clustering K-Means**, un método ampliamente utilizado en análisis de datos para segmentar elementos según su similitud interna y diferenciación respecto de otros grupos.

El objetivo de aplicar clustering es **detectar patrones de eficiencia, comportamientos típicos de las rutas y posibles grupos con altos niveles de ineficiencia u oportunidades de optimización**. Esta segmentación permite posteriormente evaluar cada grupo según su variabilidad, su aporte al costo total y su impacto en los tiempos de traslado.

Para determinar el número óptimo de clústeres se utilizaron dos métricas complementarias:

1. **Método del Codo (Elbow Method):** evalúa la disminución de la inercia o Within-Cluster Sum of Squares al aumentar el número de grupos.
2. **Coeficiente de Silhouette:** mide qué tan bien se ajusta cada observación a su clúster en comparación con otros clústeres, ofreciendo una evaluación de cohesión y separación.

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante ambas técnicas:

K	Inertia	Silhouette_Score
2	16157,52752	0,728640784
3	7468,168623	0,703893544
4	4289,454446	0,70419447
5	2281,543748	0,722396663
6	1472,739221	0,727915571
7	911,5872613	0,71171413
8	588,1440945	0,737871565
9	436,5873171	0,775503498

Figure 7.4. Resultados según cantidad de Clusters

Fuente: Elaboración propia.

Ambos métodos convergen en que **K = 9** ofrece un equilibrio adecuado entre cohesión interna y separación entre grupos, permitiendo una segmentación robusta y útil para el análisis posterior de las rutas. Este número de clústeres captura tanto la diversidad de distancias como la variabilidad en horas por tramo y valor neto, generando grupos comparables y con suficiente representatividad estadística.

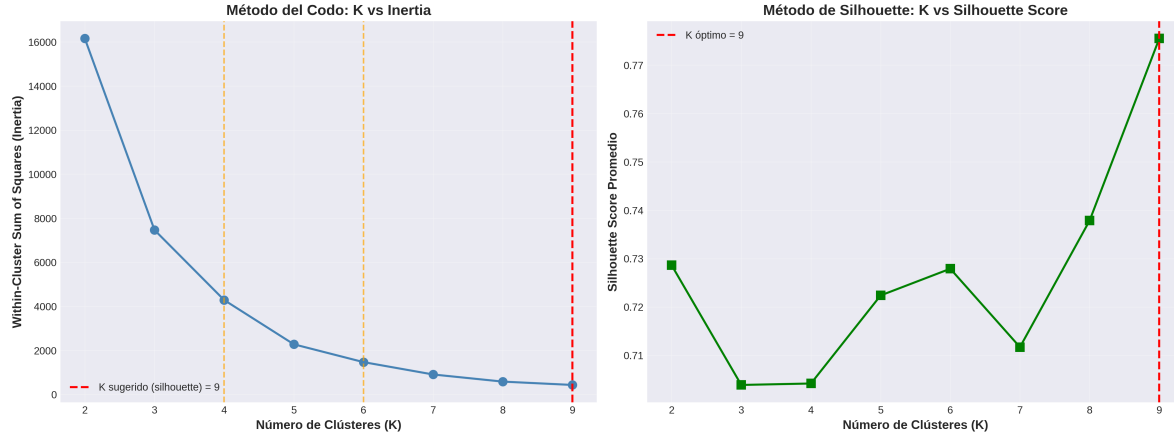


Figure 7.5. Gráfico de las curvas Inertia y Silhouette

Fuente: Elaboración propia.

Mientras el método del codo sugiere un rango razonable entre 4 y 6 clústeres, el coeficiente de silhouette muestra que **K = 9** proporciona la segmentación más robusta en términos de cohesión interna y separación entre grupos. Dado que los datos presentan alta heterogeneidad, optar por **nueve clústeres** permite representar de mejor manera la diversidad de rutas y facilitar un análisis más específico de sus comportamientos operativos.

5. Análisis Exploratorio de Datos (EDA) aplicado a los Clusters

Para comprender de manera adecuada la estructura, calidad y comportamiento general de las variables analizadas en los diferentes grupos, se aplica un EDA el cual permite identificar **tendencias, dispersiones, asimetrías, valores atípicos y relaciones preliminares**, elementos fundamentales para orientar decisiones posteriores en el análisis.

Cluster_KM	n_rutas	Distancia_KM_media	Distancia_KM_mediana	Distancia_KM_std	Distancia_KM_min	Distancia_KM_max
2	452979	6,666538062	1,8	8,282919967	0,001	32,6
8	166087	103,5300872	99,4	24,14439954	56,2	177
7	114544	256,0677556	265	26,91446267	187	358
0	196216	461,8653932	465	55,1212092	361	600
5	96691	749,5665264	719	77,13489954	638	881
3	63660	1021,648131	1034	74,38613999	886	1194
6	47137	1401,467807	1336	93,28580865	1326	1644
1	33475	1893,483256	1807	132,1769437	1699	2333
4	9664	3001,977752	3003	10,38900927	2474	3003
Cluster_KM	Horas_por_tramo_media	Horas_por_tramo_std	Valor_Neto_media	Valor_Neto_std	Cantidad_pallet_media	Cantidad_pallet_std
2	13,79077115	51,2210335	49406,74356	218196,7806	9,256874098	28,09358125
8	11,04702834	33,35437382	130386,4935	703936,5711	10,23267987	26,92514432
7	20,66273003	52,83066811	198346,3716	570152,1707	10,76840656	29,84490936
0	26,80229752	24,64654908	235108,0456	714908,364	7,452441355	23,42766817
5	37,97891057	38,82819047	340885,9313	1100669,547	8,281354325	22,37637627
3	59,29974772	42,19597142	243516,1241	833119,7981	3,858270986	10,91124227
6	54,83371423	38,62156434	680763,0707	2213220,258	7,567058383	25,56655069
1	99,0054129	60,95098353	606726,5086	1714805,891	5,183240597	15,65585032
4	223,0100403	140,2973759	572664,0354	1863495,175	12,56811507	28,11239301

Figure 7.6. Estadística Descriptiva de Datos de los Clusters

Fuente: Elaboración propia.

- Los **clústeres 2 y 8** representan rutas **cortas**, típicas de traslados urbanos o regionales (6,7 km y 103 km promedio).
- Los **clústeres 7 y 0** corresponden a **rutas intermedias**, frecuentes dentro de la operación (256 km y 462 km promedio).
- Los **clústeres 5, 3 y 6** agrupan rutas de **larga distancia**, donde los tiempos y costos aumentan considerablemente (749 km, 1.021 km y 1.401 km).
- Los **clústeres 1 y 4** contienen las rutas **más extensas del sistema**, superando los 1.800 km y 3.000 km promedio.

6. Tendencias por mes de las horas por tramo

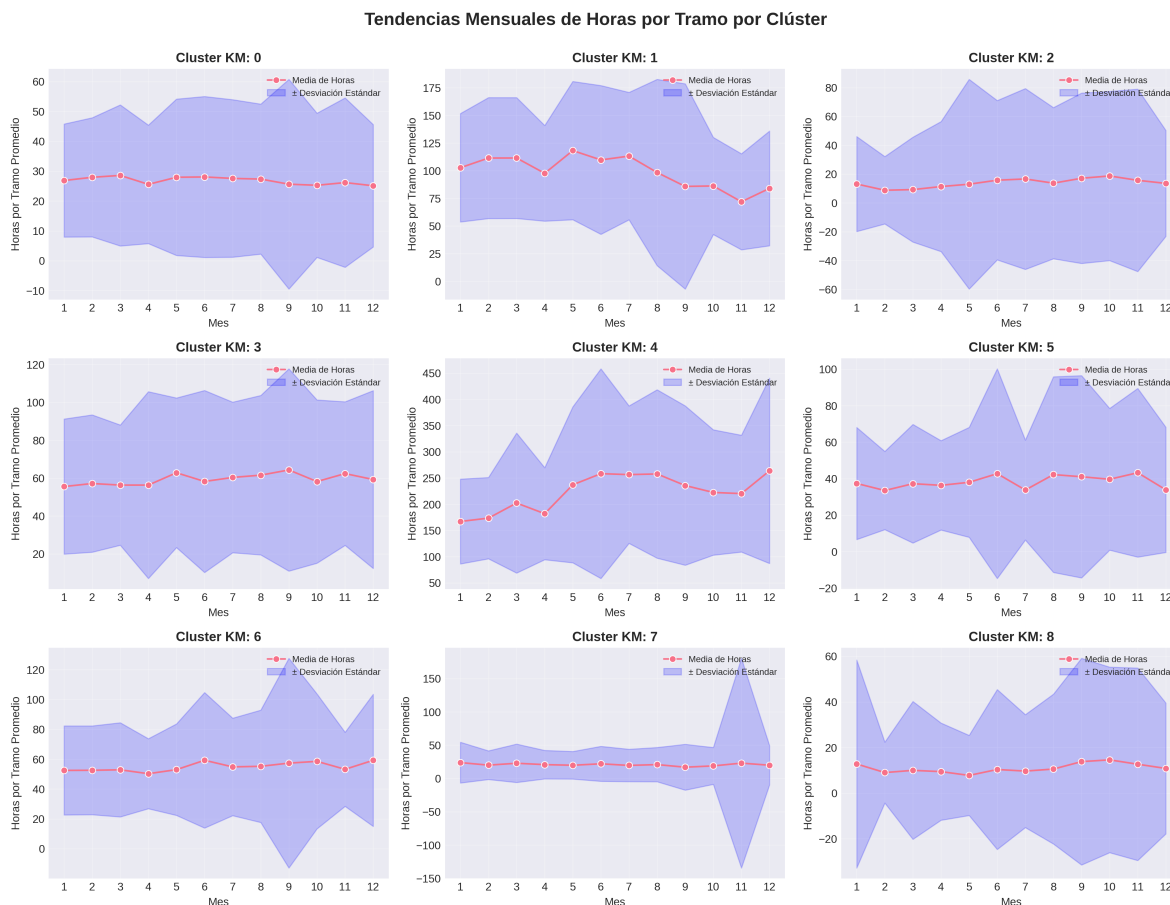


Figure 7.7. Horas por tramo en cada Cluster

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia mensual de horas por tramo muestra niveles de variabilidad claramente diferenciados entre los clústeres, lo que refleja la heterogeneidad estructural de la operación de transporte. Los grupos asociados a **rutas cortas** presentan una mayor estabilidad, atribuible a trayectos repetitivos, distancias acotadas y menor exposición a factores externos. En contraste, los clústeres correspondientes a **rutas medianas y largas** exhiben una desviación estándar considerablemente superior, evidenciando que los tiempos de traslado están sujetos a múltiples fuentes de incertidumbre, tales como condiciones climáticas, congestión interregional, restricciones de circulación, disponibilidad de flota, ventanas horarias en centros de distribución y diferencias en el desempeño de los transportistas. Asimismo, en los clústeres de mayor distancia se observa una marcada estacionalidad, particularmente en meses donde la demanda aumenta o las condiciones de tránsito se vuelven más exigentes, lo que amplifica la dispersión de los datos. En conjunto, esta variabilidad sugiere que los tiempos operativos no dependen exclusivamente de la distancia recorrida, sino de una combinación de factores logísticos, geográficos y operativos que afectan la eficiencia del transporte y que constituyen oportunidades concretas para la reducción de tiempos en segmentos específicos.

7. Tendencias por mes del Valor Neto

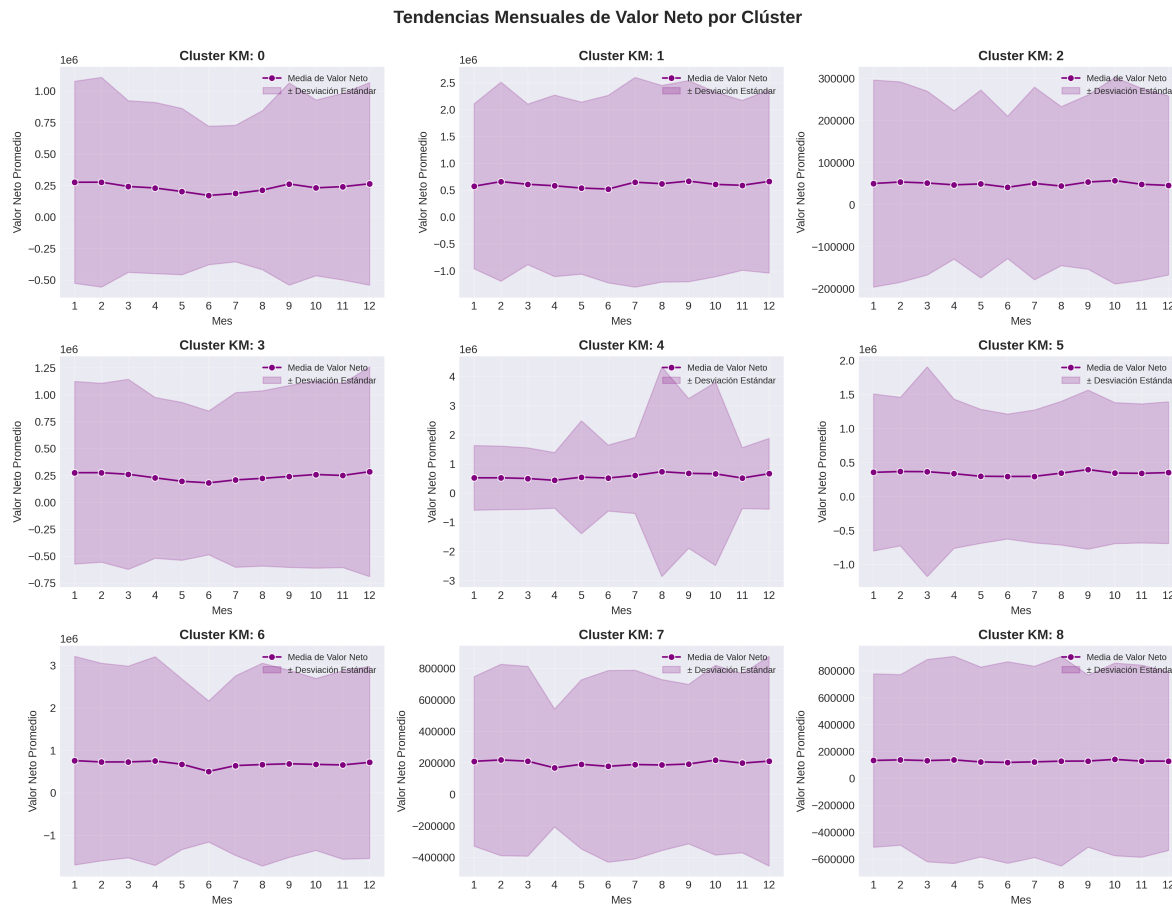


Figure 7.8. Valor Neto en cada Cluster

Fuente: Elaboración propia.

La revisión de las tendencias mensuales del Valor Neto confirma que la variabilidad del costo no depende únicamente de la distancia recorrida, sino de una combinación de factores logísticos, comerciales y operativos. Los clústeres de distancia corta muestran estabilidad, mientras que los grupos de rutas interregionales y de larga distancia evidencian una dispersión significativa, reflejo de la complejidad asociada al transporte en zonas más extensas o con condiciones cambiantes. Este comportamiento refuerza la importancia de segmentar las rutas y focalizar los esfuerzos de optimización en los clústeres de mayor variabilidad, donde incluso pequeñas mejoras pueden traducirse en **ahorros sustanciales** dada la magnitud económica involucrada.

8. Tendencias por mes de la Cantidad de Pallets

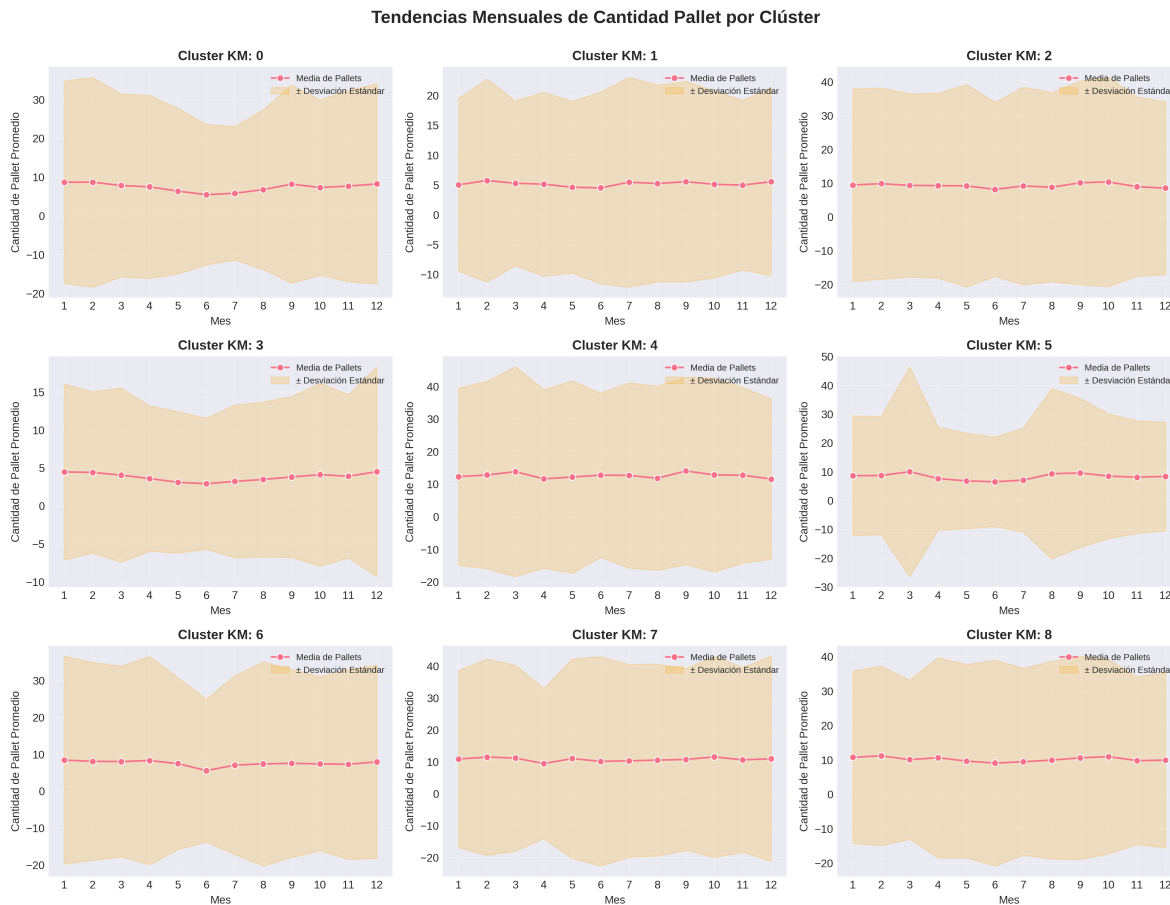


Figure 7.9. Cantidad de Pallets en cada Cluster

Fuente: Elaboración propia.

El análisis confirma que la **cantidad de pallets transportados no sigue un patrón altamente estacional**, sino que depende más de la **naturaleza de la ruta y la distancia**. Los clústeres de rutas cortas mantienen operaciones estables con variabilidad mínima, mientras que las rutas largas y muy largas presentan dispersión considerable, probablemente asociada a demanda fluctuante, disponibilidad de flota, consolidación irregular y condiciones operativas cambiantes.

Esta información es clave porque la variabilidad en carga afecta directamente la **eficiencia del transporte**, el **uso de la capacidad del camión** y, en consecuencia, los **costos operativos**. Los clústeres de mayor variabilidad —particularmente los de rutas largas— representan oportunidades estratégicas para mejorar la consolidación, reducir viajes subutilizados y optimizar recursos logísticos.

Chapter 8

Discusión

Los tres marcos conceptuales coinciden en que optimizar el Transporte Primario (T1) no depende únicamente de mover camiones de manera más rápida, sino de **gestionar integralmente los procesos, la información y la variabilidad** del sistema logístico. Aunque cada autor o modelo aporta una perspectiva distinta, juntos forman una visión coherente y robusta para comprender y mejorar el desempeño del transporte.

Desde la mirada estratégica de **Chopra y Meindl**, el transporte debe ser gestionado como parte de un sistema interdependiente donde las decisiones de diseño, planificación y coordinación impactan directamente en el costo total y el nivel de servicio. Su aporte principal es mostrar que optimizar T1 requiere **equilibrar eficiencia y capacidad de respuesta**, seleccionando modos adecuados, planificando rutas eficientes y aprovechando al máximo la capacidad de carga para evitar sobrecostos, especialmente en viajes de baja ocupación. Su enfoque resalta que el transporte no se optimiza de forma aislada, sino como una pieza clave dentro del diseño global de la cadena.

Por su parte, **Martin Christopher** aporta una visión centrada en la competitividad, donde el transporte es un **habilitador directo de valor para el cliente**. Para él, la clave está en reducir la variabilidad de los tiempos, asegurar la confiabilidad del flujo de productos y eliminar actividades que no agregan valor, como esperas, movimientos innecesarios o pedidos de emergencia con poca carga. Christopher enfatiza que una cadena ágil y sincronizada depende de un transporte primario estable, predecible y bien coordinado, lo cual permite mejorar la disponibilidad de productos, disminuir los costos asociados a ineficiencias y lograr un mejor servicio al cliente.

Finalmente, el **modelo SCOR DS** complementa estas visiones entregando una estructura metodológica para **modelar, medir y mejorar** el desempeño del transporte. SCOR descompone T1 en procesos estandarizados —principalmente dentro de Deliver y Source— y define métricas claves como confiabilidad, tiempo de ciclo, costo logístico y utilización de activos. Gracias a esta estandarización, SCOR permite identificar brechas, comparar desempeño entre periodos o proveedores, y establecer prácticas concretas de mejora operativa. Su aporte principal es transformar conceptos estratégicos en **indicadores operativos que permiten gestionar T1 con precisión y de forma continua**.

En conjunto, estos tres enfoques revelan que optimizar el transporte primario implica:

- Reducir la variabilidad del Lead Time mediante planificación y control.
- Minimizar viajes de baja carga y pedidos de emergencia.
- Aumentar la utilización del camión y consolidar eficientemente.
- Mejorar la coordinación entre centros de origen y destino.
- Implementar métricas que permitan monitoreo y mejora continua.
- Equilibrar costo total con nivel de servicio y agilidad.

De esta forma, la combinación de estos marcos teóricos proporciona un fundamento sólido para diagnosticar, analizar y proponer mejoras en el T1, permitiendo **reducir costos logísticos, mejorar el servicio y aumentar la estabilidad de la operación**, dependiendo del comportamiento real de los datos.

1. Costos

1.A. Costos Estimados de la Operación de Transporte

Considerando que el *Valor Neto* corresponde al costo total por viaje y que se registraron 1.180.453 viajes con un costo promedio de 185.762 CLP, se estima que la operación completa alcanza un costo anual cercano a 219,4 mil millones de CLP.

A partir de esta información, y suponiendo operación continua durante los 365 días del año, se obtiene lo siguiente:

- **Costo promedio por viaje:** 185.762 CLP.
- **Viajes diarios estimados:** 3.236 viajes/día.
- **Costo diario aproximado:** 601 millones de CLP/día.
- **Costo mensual aproximado:** 18,3 mil millones de CLP/mes.
- **Costo anual total:** 219,4 mil millones de CLP/año.

Estos resultados evidencian que pequeñas mejoras porcentuales en tiempos y eficiencia operativa pueden generar ahorros significativos a escala anual.

1.B. Costos Estimados del Leadtime en la Operación de Transporte

- **Porcentaje del costo explicado por Lead Time (R^2):** 0,7%.
- **Viajes diarios estimados:** 3.236 viajes/día.
- **Costo diario asociado al Lead Time:** 4,2 millones de CLP/día.
- **Costo mensual asociado al Lead Time:** 128 millones de CLP/mes.
- **Costo anual asociado al Lead Time:** 1.536 millones de CLP/año.

Podemos observar que pequeñas reducciones en el Lead Time pueden generar ahorros significativos dada la magnitud de la operación, un pequeño porcentaje es significativo en este tipo de operaciones.

En línea con los enfoques de Chopra, Christopher y el modelo SCOR, la identificación de brechas de optimización constituye el primer paso para aplicar estrategias efectivas en el Transporte Primario. El análisis de las tendencias de horas por tramo evidencia que los clusters 6, 7 y 8 presentan una estacionalidad marcada, concentrando un volumen considerable de rutas y, por tanto, una porción significativa del Valor Neto asociado al transporte. Según estos marcos teóricos, una reducción del Lead Time en grupos de alta concentración puede traducirse directamente en mejoras de eficiencia, menores costos y un aumento del nivel de servicio.

La variabilidad observada en estos periodos podría deberse a factores como aumentos estacionales de demanda, descoordinación entre centros, sobrecarga operativa o mayor frecuencia de pedidos de emergencia, elementos que, en conjunto, afectan la estabilidad del

proceso. Analizar estas causas permite orientar acciones de planificación, consolidación de carga, coordinación operativa y monitoreo continuo, coherentes con las recomendaciones de los autores y esenciales para mejorar el desempeño del abastecimiento.

Para una empresa de bebidas, esta estacionalidad es especialmente relevante: **septiembre** registra un aumento natural por las celebraciones del 18, **octubre** experimenta alzas ligadas a Halloween y **noviembre-diciembre** concentran picos de consumo por Navidad, Año Nuevo y el inicio de las altas temperaturas. En este contexto, la variabilidad observada podría deberse a incrementos estacionales de demanda, des coordinación entre centros, sobrecarga operativa o mayor frecuencia de pedidos de emergencia, factores que afectan directamente la estabilidad del proceso. Analizar estas causas permite orientar acciones de planificación, consolidación de carga, coordinación operativa y monitoreo continuo, coherentes con las recomendaciones de los autores y esenciales para mejorar el desempeño del abastecimiento.

Chapter 9

Conclusiones y Recomendaciones

1. Análisis de la situación

Siguiendo el enfoque de Chopra, la cadena de abastecimiento debe anticiparse a variaciones estacionales mediante una planificación flexible que reduzca tiempos improductivos y variabilidad operativa. En este caso, el análisis temporal del Lead Time permite identificar oportunidades claras de reducción en los siguientes clusters:

- **Cluster 6:**
 - Número de rutas: **47.137**
 - Distancia promedio: **1.400 km**
 - Variabilidad del Lead Time: **38 horas**
- **Cluster 7:**
 - Número de rutas: **114.544**
 - Distancia promedio: **256 km**
 - Variabilidad del Lead Time: **52 horas**
- **Cluster 8:**
 - Número de rutas: **166.087**
 - Distancia promedio: **103 km**
 - Variabilidad del Lead Time: **33 horas**

1.A. Definición operativa de los clusters de rutas

Cluster 8 – Rutas cortas intrarregionales (103 km)

Corresponden principalmente a **movimientos dentro de una misma región**, muchas veces entre centros cercanos o hacia destinos de alta frecuencia. Comparten una **alta recurrencia**, menores distancias .

Cluster 7 – Rutas medias intercomunales o interprovinciales (256 km)

Este grupo agrupa rutas que, si bien pueden mantenerse **dentro de una misma región**, también incluyen trayectos entre regiones contiguas.

Cluster 6 – Rutas largas interregionales (1.400 km)

Este cluster concentra rutas que atraviesan **al menos tres regiones**, cubriendo trayectos extensos a nivel país. En términos empresariales, estas rutas corresponden a **abastecimiento estratégico**, donde el foco está en la **anticipación de demanda, programación temprana y control del riesgo**, ya que cualquier desviación tiene un impacto elevado en costo y continuidad operativa

1.B. Análisis Estacional del Lead Time y Oportunidades de Anticipación Logística en el Transporte Primario (T1)

Durante los meses de **septiembre, octubre y noviembre**, estos tres clusters muestran incrementos sistemáticos en los tiempos promedio de traslado, lo que indica fenómenos estacionales que afectan la operación. Identificar estas desviaciones permite adaptar la planificación para disminuir retrasos, reducir pedidos de emergencia y optimizar la asignación de capacidad.

Reducir el Lead Time en estos periodos críticos representa un **ahorro directo en términos de tiempo y Valor Neto**, ya que los costos del viaje (VN) se ven afectados por esperas, ineficiencias y uso subóptimo de la flota. Por lo tanto, una gestión estacional más precisa disminuye la variabilidad, mejora el servicio y reduce costos al evitar comportamientos operativos improductivos.

A partir del análisis estacional, se observa que los clusters **6, 7 y 8** presentan aumentos significativos en la variabilidad del Lead Time durante los meses de **septiembre, octubre, noviembre y diciembre**, periodos asociados a eventos de mayor consumo (Fiestas Patrias, Halloween, Navidad, Año Nuevo e inicio de temporada estival). Dado que estos grupos concentran un volumen elevado de rutas —**47.137, 114.544 y 166.087** respectivamente— y muestran variabilidades relevantes de **38, 52 y 33 horas**, se recomienda implementar una estrategia de **anticipación logística** orientada a reducir la presión operativa y mejorar el desempeño del transporte primario (T1).

Esta anticipación consiste en **adelantar envíos estratégicos** hacia los centros de destino durante las semanas previas al alza estacional, con el fin de **aumentar el stock de reserva** y disminuir la necesidad de realizar pedidos urgentes o de baja carga en plena temporada alta. Bajo la lógica planteada por Chopra y Meindl, esta táctica reduce la incertidumbre del sistema y mejora la sincronización entre oferta y demanda; en línea con Christopher, permite enfrentar la variabilidad con mayor estabilidad y servicio; y según el estándar SCOR, fortalece los procesos de **Plan y Deliver**, reduciendo tiempos de ciclo y dependencia de reacciones correctivas.

Al anticipar la reposición, se espera **reducir la incidencia de pedidos de emergencia**, mejorar la utilización de la flota, consolidar cargas más eficientes y disminuir la congestión operativa en fechas críticas. Todo ello se traduce en **menores costos logísticos**, una operación más estable y un **mejor nivel de servicio a los centros**, especialmente en los clusters donde se concentra la mayor actividad y variabilidad del Lead Time.

- **Costo anual asociado al Lead Time (toda la operación):** ~1.536 millones de CLP/año.
- **Participación de los clusters 6, 7 y 8 (por km recorridos):** ~25,8%.
- **Costo anual asociado al Lead Time en clusters 6, 7 y 8:** ~396 millones de CLP/año.
- **Equivalente mensual:** ~33 millones de CLP/mes.
- **Ahorro potencial si se reduce un 10–20% este componente:** entre 3,3 y 6,6 millones de CLP/mes.

A partir de estos resultados, se evidencia que los clusters **6, 7 y 8** representan una fracción significativa del costo anual asociado al Lead Time —aproximadamente **396 millones de CLP/año**, equivalentes a **33 millones de CLP mensuales**—, lo que confirma que intervenir estos tramos ofrece un margen real de optimización. Si bien una reducción del **10–20 %** en este componente implica ahorros entre **3,3 y 6,6 millones de CLP por mes**, este valor puede ampliarse mediante estrategias más profundas de gestión, planificación y control operativo.

2. principales recomendaciones

En primer lugar, **anticipar la reposición de inventario** en los meses de mayor demanda:. La anticipación de la reposición de inventario en los meses de mayor demanda permite reducir la presión operativa sobre el sistema de transporte, disminuyendo la ocurrencia de despachos de emergencia, viajes con baja ocupación y tiempos de espera asociados a saturación operativa. Desde la perspectiva del Lead Time, esta estrategia reduce tanto el tiempo promedio como su variabilidad, especialmente en los clusters de mayor distancia y complejidad operativa.

Considerando que el costo mensual asociado al Lead Time en los clusters 6, 7 y 8 asciende a aproximadamente **33 millones de CLP**, y que una parte relevante de la variabilidad se concentra en los meses de alta demanda, se estima que una reducción conservadora del **5–8 %** del Lead Time durante dicho período es alcanzable mediante planificación anticipada de inventario. Esto se traduce en un **ahorro mensual estimado entre 1,6 y 2,6 millones de CLP**, lo que, concentrado en cuatro meses críticos, representa un ahorro anual del orden de **6,5 a 10,4 millones de CLP**. Este monto se fundamenta en la reducción de sobre costos por viajes reactivos y utilización ineficiente de la capacidad de transporte.

En segundo lugar, pero no menos importante, resulta clave **implementar métricas específicas de control del Lead Time por cluster**:. La implementación de métricas de control del Lead Time desagregadas por cluster, complementadas con alertas tempranas ante desviaciones crecientes, permite una gestión proactiva del proceso logístico. Esta estrategia no elimina los tiempos estructurales del sistema, pero sí reduce los desvíos progresivos que, de no ser detectados oportunamente, derivan en mayores tiempos de estadía, reprogramaciones y costos operativos adicionales.

Dado que la literatura logística y la evidencia empírica del estudio indican que una parte significativa del costo asociado al Lead Time proviene de la variabilidad y no del promedio, se estima que esta estrategia puede generar una reducción adicional del **3–5 %** del costo mensual asociado al Lead Time en los clusters críticos. En términos monetarios, esto equivale a un ahorro de entre **1,0 y 1,7 millones de CLP mensuales**, lo que anualizado representa aproximadamente **12 a 20 millones de CLP**. Este ahorro se fundamenta en la disminución de tiempos improductivos y en la corrección temprana de desviaciones operativas antes de que se consoliden como sobre costos recurrentes.

Finalmente, es recomendable explorar **modelos de consolidación dinámica** y reevaluar **políticas de asignación de carga**:. La exploración de modelos de consolidación dinámica, junto con la reevaluación de las políticas de asignación de carga en función del comportamiento histórico, permite atacar directamente uno de los principales generadores de ineficiencia en el transporte: la baja ocupación de los vehículos y la fragmentación de la carga. Esta estrategia apunta a reducir la cantidad de viajes necesarios y a mejorar la relación entre kilómetros recorridos, horas por tramo y valor transportado.

Considerando que los clusters 6, 7 y 8 concentran aproximadamente el **25,8 %** de los kilómetros recorridos y una proporción relevante del costo del Lead Time, se estima que una mejora operativa que reduzca este componente en un **5–7 %** es factible mediante una mejor consolidación y asignación de carga. Esto representa un ahorro mensual adicional de entre **1,6 y 2,3 millones de CLP**, equivalente a un ahorro anual aproximado de **19 a 28**

millones de CLP. Este monto se fundamenta en la reducción de viajes subóptimos y en una mayor eficiencia en el uso de la capacidad instalada del transporte.

En conjunto, la aplicación coordinada de estas estrategias permite proyectar un ahorro mensual total del orden de **4,2 a 6,6 millones de CLP**, coherente con el escenario de reducción del **10–20 %** del costo mensual asociado al Lead Time en los clusters críticos. A nivel anual, esto equivale a un ahorro potencial de entre **50 y 80 millones de CLP**, reforzando el carácter estratégico de la optimización del Lead Time como palanca directa de reducción de costos operativos.

Chapter 10

Limitaciones

La presente investigación presenta ciertas limitaciones metodológicas y asociadas a la calidad y alcance de los datos utilizados, las cuales deben ser consideradas al momento de interpretar los resultados. En primer lugar, la base de datos analizada corresponde a registros operacionales extraídos desde el sistema SAP, los cuales fueron generados con fines de control y trazabilidad operativa, y no diseñados originalmente para un análisis académico o causal. Si bien la información abarca el período comprendido entre enero y diciembre de 2024 e incluye la totalidad de los registros disponibles —considerando también operaciones de otros países—, fue necesario aplicar filtros y procesos de depuración, eliminando observaciones con valores nulos o iguales a cero en variables clave como kilómetros recorridos, valor neto y horas por tramo, lo que podría introducir sesgos en la representatividad de ciertos tipos de operaciones. Desde el punto de vista metodológico, el estudio adopta un enfoque descriptivo, permitiendo identificar patrones, tendencias y estacionalidades en el comportamiento del Lead Time y sus costos asociados; sin embargo, la naturaleza de los datos y la ausencia de variables explicativas adicionales limitan la capacidad de establecer relaciones causales específicas. Asimismo, el proceso de clustering se realizó considerando únicamente la distancia recorrida en kilómetros, lo que simplifica la complejidad real de las rutas al no incorporar otros factores operativos relevantes. Finalmente, los escenarios de ahorro estimados se basan en supuestos teóricos de reducción del Lead Time y no en una implementación real de las estrategias propuestas, por lo que los resultados deben interpretarse como órdenes de magnitud referenciales. En este contexto, si bien los hallazgos apuntan a oportunidades de mejora aplicables a la red logística en rutas específicas, su generalización debe realizarse con cautela y considerando las particularidades operativas de cada tramo.

Bibliography

- anyLogistix (2023). Coca-cola İçecek's supply chain optimization project. *anyLogistix Case Studies*.
- ASCM (2022). Scör digital standard. *Association for Supply Chain Management (ASCM)*.
- Averitt Express (2025). Beer & beverages case study. *Averitt Express*.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., and Cooper, M. B. (2013). Supply chain logistics management. *McGraw-Hill Education*.
- Chopra, S. (2008). Supply chain management: Strategy, planning, and operation. *Pearson Education*.
- Christopher, M. (1992). Logistics and supply chain management: Strategies for reducing costs and improving services. *Pitman Publishing*.
- MIT Center for Transportation & Logistics (2015). Supply chain metrics and definitions. *Massachusetts Institute of Technology*.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., and Slack, B. (2020). The geography of transport systems. *Routledge*.
- Sheffi, Y. (2012). Logistics-intensive clusters: Global competitiveness and regional growth. *MIT Press*.
- Shiperone (2025). Varun beverages – case studies. *Shiperone*.
- University of North Texas (2025). What is logistics? *University of North Texas*.