

Proyecto de Pasantía

Realizado en el área Supply Chain en Walmart Chile

Desarrollo e implementación de un sistema de sugerencia del plan de frecuencias en segmento ACP.

Benjamín Alejandro Soto Gómez

Universidad Adolfo Ibáñez

Profesor guía: Raimundo Sanchez Undurraga

Santiago, Chile

2023

Resumen Ejecutivo

La planificación de frecuencias de abastecimiento de mercadería, conocida como FixPlanning, representa uno de los pilares fundamentales en el ámbito logístico para empresas, especialmente aquellas dedicadas a la venta minorista, mayorista y manufactura. Este proceso implica la determinación de la cantidad de veces que se envía mercadería a un punto específico desde un lugar de almacenamiento designado, generalmente planificando estas entregas a nivel semanal.

Este proyecto ingenieril se llevó a cabo en Walmart Chile, donde los periodos de alta demanda presentan desafíos logísticos significativos. Durante estos periodos, las tiendas deben gestionar un mayor volumen de mercadería manteniendo las mismas capacidades de almacenamiento. Estos momentos de alta demanda en la empresa coinciden con diversas campañas, como Fiestas Patrias, Navidad, Productos a Mil, entre otras.

La métrica principal para evaluar el rendimiento del plan de frecuencia es el nivel de cumplimiento, medido mediante la proporción entre la cantidad de días despachados y la cantidad de días planificados. El proyecto de pasantía se centra en la creación de un sistema de sugerencias de FixPlanning para periodos de alta demanda, específicamente para dos centros de distribución, cuatro formatos de la compañía y se enfoca en el segmento ACP.

Este sistema se construye mediante la recopilación de datos del año 2023 y la identificación de variables influyentes en el proceso de distribución de mercadería, la clusterización de locales según su capacidad de almacenamiento y niveles de ventas. Posteriormente, estas variables se someten a un análisis multivariable para proporcionar sugerencias de bajar, mantener o subir las frecuencias de abastecimiento basándose en el pronóstico del flujo de mercadería. Finalmente, se presentan los resultados y se evalúa su posible impacto en el almacenamiento de las tiendas.

Como resultado de la implementación del proyecto, se lograron cumplir los objetivos establecidos, alcanzando un 100% de Cumplimiento de FixPlanning, una factibilidad del 100% para las sugerencias y ningún local experimentó problemas de almacenamiento. Se espera que la implementación del sistema se expanda a más locales manteniendo un alto nivel de eficiencia.

Abstract

The merchandise supply frequency planning, known as FixPlanning, represents a fundamental pillar in the logistics realm for companies, particularly those engaged in retail, wholesale, and manufacturing. This process involves determining the number of times merchandise is sent to a specific point from a designated storage location, typically planning these deliveries on a weekly basis.

This engineering project was carried out at Walmart Chile, where high-demand periods pose significant logistical challenges. During these times, stores must manage a greater volume of merchandise while maintaining the same storage capacities. These high-demand periods in the company coincide with various campaigns, such as Independence Day, Christmas, Products at a Thousand, among others.

The primary metric for evaluating the performance of the frequency plan is the fulfillment level, measured by the ratio of the number of days dispatched to the number of planned days. The internship project focuses on creating a FixPlanning suggestion system for high-demand periods, specifically for two distribution centers, four company formats, and targets the ACP segment.

This system is built by collecting data from the year 2023 and identifying influential variables in the merchandise distribution process. It involves clustering locations based on their storage capacity and sales levels. Subsequently, these variables undergo multivariable analysis to provide suggestions to decrease, maintain, or increase supply frequencies based on the merchandise flow forecast. Finally, the results are presented, and their potential impact on store storage is assessed.

As a result of the project implementation, the established objectives were successfully achieved, attaining a 100% FixPlanning fulfillment rate, 100% feasibility for suggestions, and no location experienced storage issues. It is anticipated that the system's implementation will expand to more locations while maintaining a high level of efficiency.

Índice

1. Introducción	4
1.1 Contexto de la empresa	4
1.2 Contexto del problema	6
1.3 Contexto de la oportunidad	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general (SMART)	12
2.2 Objetivos específicos	12
2.3 Medidas de desempeño	12
3. Estado del arte	13
4. Solución	19
4.1 Alternativas de solución	19
4.2 Solución escogida	20
5. Desarrollo de la solución	21
5.1 Metodología	21
5.2 Plan de implementación	27
5.3 Análisis de riesgo	30
5.4 Evaluación económica	30
6. Resultados	33
6.1 Resultados del desarrollo de la solución	33
6.2 Evaluación de métricas de desempeño	33
7. Conclusión	35
8. Referencias	36
10. Anexos	37

1. Introducción

En este capítulo, se proporcionarán detalles específicos sobre la empresa y el área donde el estudiante llevó a cabo su pasantía. Este contexto es fundamental para comprender el trasfondo del problema abordado y el surgimiento de la oportunidad que dio origen al proyecto.

1.1 Contexto de la empresa

Walmart Inc., dueña de Walmart Chile, es una cadena minorista multinacional que ofrece una amplia gama de productos, desde alimentos hasta electrónica y juguetes. La misión de Walmart Chile es ayudar a las personas a ahorrar dinero y vivir mejor, aspirando a ser el minorista más confiable del mundo con precios bajos diarios. Su estrategia se enfoca en eficiencia operativa, reducción de costos e innovación tecnológica. Utilizan su escala para negociar precios competitivos con proveedores y han invertido en tecnología para mejorar la eficiencia en inventario y distribución, proporcionando una experiencia de compra más eficiente para los clientes.

Walmart Chile cuenta con diversas áreas dentro de su organización, pero para el propósito de este proyecto, nos centraremos en el área de Supply Chain, que se compone de tres grandes gerencias. La gerencia de Replenishment, se encarga de garantizar un eficiente proceso de abastecimiento en todo el país, la cual está dividida por las siguientes cuatro gerencias:

1. PPS: Área encargada de alimentos perecederos
2. ACP: Área encargada de alimentos secos, consumibles y productos para mascota
3. GM: Área encargada de productos no alimentarios
4. Negocios & Flujo: Área encargada del flujo de mercadería y de la negociación de esta en coordinación con el equipo comercial.

La cuarta gerencia descrita se divide en cuatro subgerencias, siendo la más relevante para este proyecto la de Flujo E2E & Aperturas, donde el alumno realiza su pasantía. Este equipo respalda el reabastecimiento, analiza y controla el flujo de mercadería entre centros de distribución (CD), proveedores directos (DSD) y tiendas, además de gestionar las próximas aperturas de tiendas. Además, a través de la coordinación las gerencias de Centros de Distribución y Transporte, brinda apoyo en las operaciones de las tiendas en todos sus formatos. El equipo Flujo E2E & Aperturas

tiene siete empleados, dos especialistas, dos analistas senior y tres analistas junior, siendo dos de ellos practicantes. La Figura 1 ilustra el organigrama descrito.

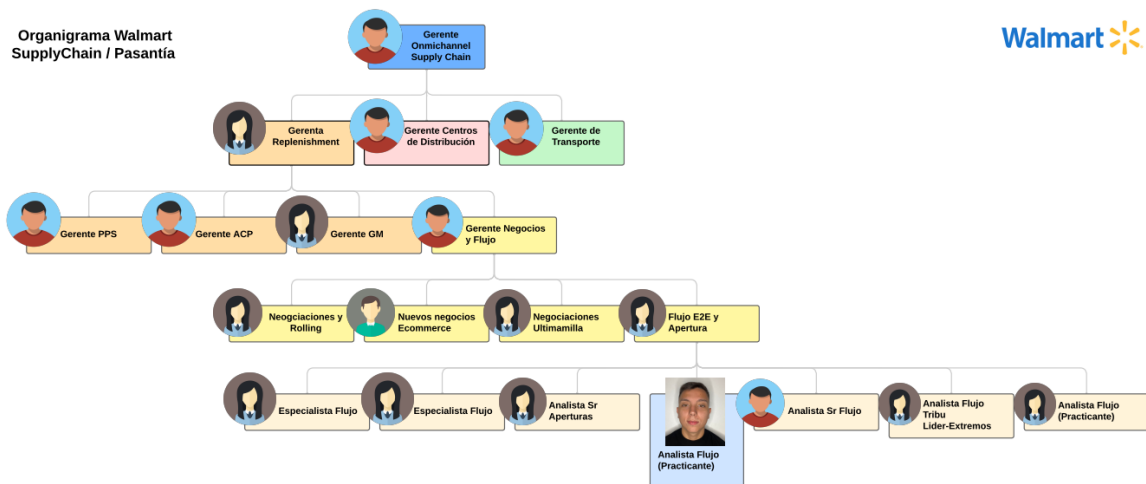


Figura 1: Organigrama Supply Chain, Walmart Chile (Fuente: Elaboración Propia)

Walmart Chile opera con diversos formatos de tiendas, siendo Líder el líder en ventas y volumen. También gestiona Central Mayorista y "Small Formats," que incluye marcas como Acuenta, Líder Express y LíderExpress400 (anteriormente Ekono). La diversidad de formatos y el éxito en el comercio electrónico reflejan el atractivo modelo de negocio de Walmart Chile y su potencial de crecimiento futuro.

Para abastecer eficazmente su extensa red de 389 establecimientos en Chile, la empresa cuenta con 6 Centros de Distribución distribuidos a lo largo del país. La Tabla 1 muestra un desglose detallado de estos locales por región y formato, mientras que la Tabla 2 proporciona detalles sobre los centros de distribución (CD), incluyendo su número de identificación ("WHSE_NBR").

N° Locales por Región	Región															
Formato	I	II	III	IV	IX	RM	V	VI	VII	VIII	X	XII	XIV	XV	XVI	Total general
ACUENTA	2		1	8	13	25	18	8	15	19	7		6		4	126
EXPRESS		1		3	5	47	15	4	6	5	6		1		1	94
EXPRESS 400						56	5	1								62
LIDER	2	5	2	5	3	41	12	5	4	7	5	1	1	2	1	96
MAYORISTA				1		5	1	1	1		2					11
Total general		4	6	3	17	21	174	51	19	26	31	20	1	8	2	389

Tabla 1: Número de locales por región y por formato (Fuente: Walmart Chile)

WHSE NBR	Nombre CD	Región	Tipo de producto que distribuye
6020	El Peñon	RM	GM y ACP (Solo Small Formats)
6009	Lo Aguirre	RM	ACP (Solo Líder y Mayorista)
6011	Quilicura	RM	PPS (Todos los formatos)
6003	Antofagasta	II	ACP
6010	Chillán	XVI	ACP
6004	Temuco	IX	ACP

Tabla 2: Centros de Distribución de Walmart Chile (Fuente: Elaboración Propia)

Según datos de la empresa, Walmart Chile tiene una participación de mercado cercana al 40%, consolidándose como líder en la industria minorista en Chile. Esto se refleja en ventas netas de más de \$500 millones e ingresos anuales superiores a \$130 millones.

1.2 Contexto del problema

En Walmart, el flujo de mercadería abarca el proceso desde la adquisición de productos hasta su entrega en cada tienda. Este flujo determina la cantidad de productos que se enviarán a cada establecimiento, generalmente medido en cajas, pallets o camiones. La información sobre cuánta mercancía se envía a cada tienda se basa en un pronóstico llamado "Rolling", elaborado por el equipo de negociación y basado en la demanda anticipada de cada tienda. Posteriormente, se tiene el dato de "Control" que registra las cajas efectivamente recibidas en las tiendas para medir la precisión del pronóstico.

El flujo de mercadería comprende cinco fases principales, las cuales se ilustran en la Figura 2. La primera fase se refiere a la planificación de cuándo los proveedores entregan la mercancía en los centros de distribución. La segunda fase implica la recepción de la mercancía, que se registra en el sistema de inventario GLS para su seguimiento y control. En la tercera fase, se prepara la mercancía para cada tienda según las pautas proporcionadas por el sistema de reabastecimiento automático GRS, que considera diversas variables. Posteriormente, en la cuarta fase, el equipo de Transporte se encarga de cargar la mercancía en camiones, y en la quinta fase, el equipo de tráfico gestiona el envío de la mercancía, desde el inicio de la ruta de los camiones hasta su entrega en las tiendas.



Figura 2: Diagrama de Flujo de Mercadería (Fuente: Elaboración Propia)

El Fixplanning es un calendario que establece la frecuencia de envío de mercancía para cada combinación CD-Local, es decir, indica la cantidad de veces que se distribuye mercadería a cada local por semana, dependiendo de la capacidad logística, costos, capacidad de almacenamiento y sincronización con proveedores. La evaluación del Fixplanning se realiza mediante dos indicadores clave de desempeño (KPI):

- Exactitud del Fixplanning (%): Mide la precisión del plan en términos de días.
- Cumplimiento (%): Mide la ejecución del plan en términos de frecuencia.

La recepción diaria de mercancía en tiendas sería ideal, pero se ve limitada por costos logísticos, restricciones de almacenamiento y limitaciones físicas en las tiendas. La gestión se complica, especialmente durante las seis campañas anuales de alta demanda:

1. Productos a Mil (tres veces al año).
2. Semana Santa.
3. Cyber Líder.
4. Fiestas Patrias (FF. PP)
5. BlackFriday.
6. Navidad

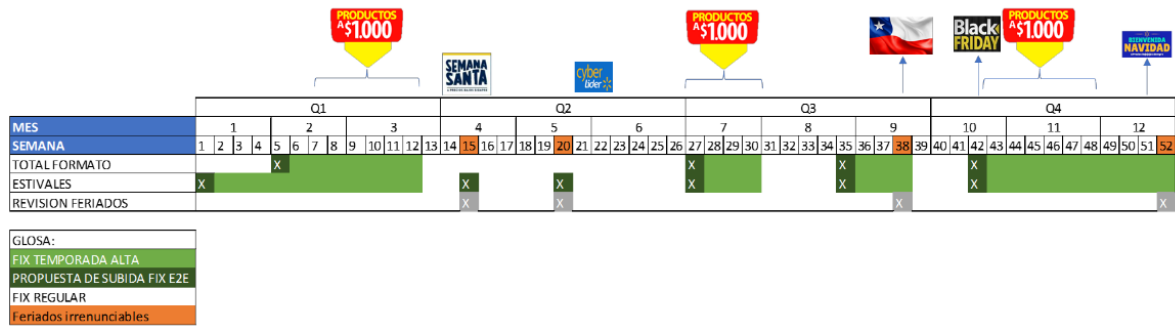


Figura 3: Línea de tiempo de campañas en el 2023 (Fuente: Walmart Chile)

La problemática ocurre durante las campañas mencionadas e ilustradas en la Figura 3, ya que los locales deben enfrentar el aumento de la demanda con la misma capacidad de recepción y almacenamiento constante. La Figura 4 respalda esto, mostrando las ventas netas mensuales de 2023, en donde, las ventas más altas ocurren en marzo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, alineándose con las campañas de Productos a Mil, FF. PP, BlackFriday y Navidad, generando un aumento notable en las ventas netas.

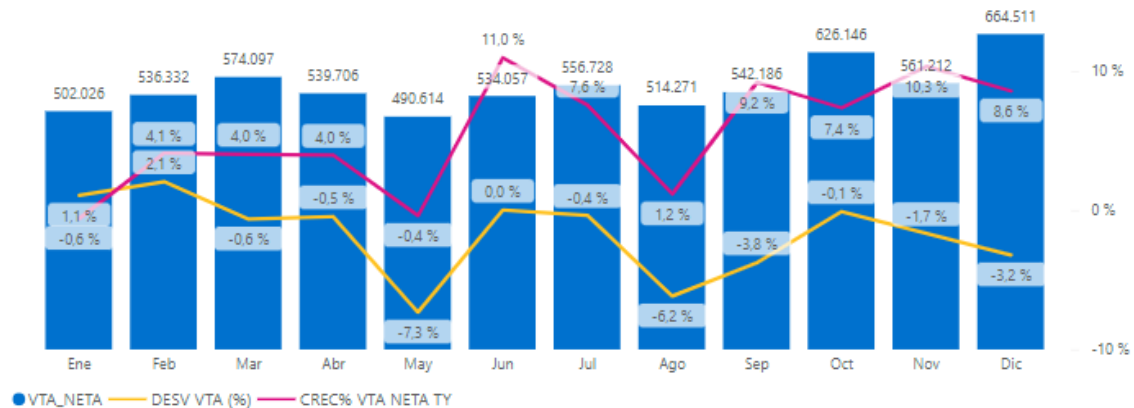


Figura 4: Gráfico de Ventas Neta 2023 (Fuente: Walmart Chile)

Para analizar a fondo el impacto de una campaña, examinaremos la campaña de Fiestas Patrias 2023, específicamente las semanas 35, 36 y 37 previas al 18 de septiembre, en las cuales se lleva a cabo el abastecimiento de mercadería para la campaña. En la Figura 5, se observa un aumento en el volumen de cajas distribuidas, superando los 4 millones por semana. Esta información se correlaciona con la Figura 4, que muestra un crecimiento del 9,2% en las ventas netas de agosto a septiembre.

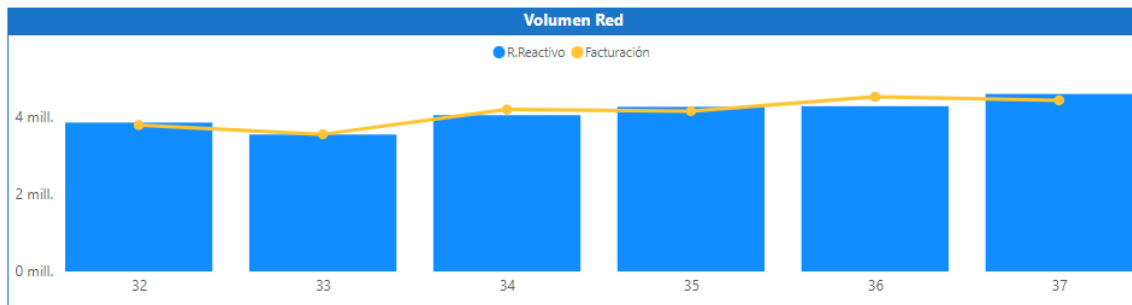


Figura 5: Gráfico de Rolling (Volumen de cajas) entre semana 32 y 37 del 2023 (Fuente: Walmart Chile)

Es crucial cuantificar el impacto de la campaña de Fiestas Patrias en el plan de frecuencia. La Tabla 3 resume las frecuencias en las semanas de abastecimiento de la campaña junto a sus indicadores. En la semana 37 se registró el pick de frecuencias, teniendo los indicadores más bajos de Fix Accuracy y Cumplimiento con respecto a las otras semanas, siendo un 96% el objetivo del Fix Accuracy y un 100% en el Cumplimiento.

Semana	Fix Total	Fix Accuracy	Cumplimiento Fix
35	5008	92,8%	101,4%
36	5120	93%	105,7%
37	5190	91,5%	100,9%
38	3331	94,1%	101,1%

Tabla 3: FixPlanning por semana junto a KPI's de FixPlanning (Fuente: Elaboración propia)

Además, esta campaña impacta significativamente en las capacidades de almacenaje de los establecimientos. La Figura 6 ilustra la cantidad de locales críticos en los segmentos ACP y GM durante las semanas 31 a 38 de 2023. La criticidad se manifiesta a través de un indicador denominado OTS (Open To Ship), el cual evalúa la ocupación del espacio designado para la mercadería. Durante este período, el indicador superó el 100%, señalando que los locales experimentaron un colapso. En condiciones normales, se registra un promedio de 153 locales críticos en OTS, mientras que, durante las semanas críticas de la campaña, este número se incrementa a 177 locales en promedio. La semana 35 resalta al mostrar la cifra más alta de locales críticos, llegando a un valor de 194.

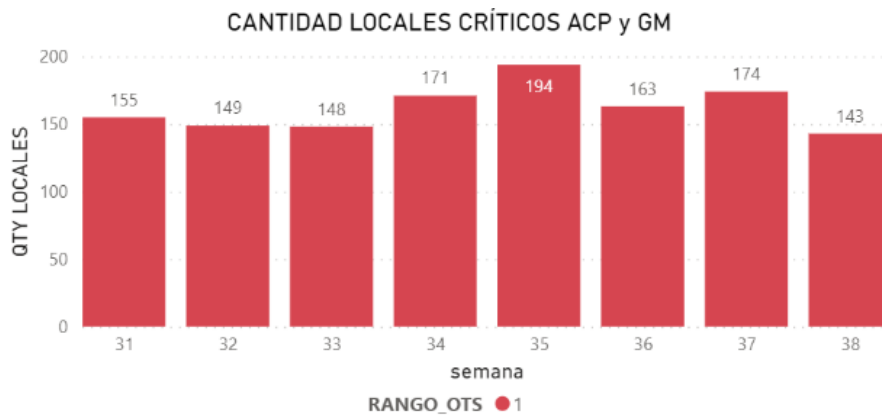


Figura 6: Gráfico cantidad de locales críticos en OTS segmentos ACP y GM, 2023 (Fuente: Walmart Chile)

Existen otros indicadores que pueden ser afectados por una programación de frecuencias ineficiente; no obstante, estos no dependen únicamente del FixPlanning. Un ejemplo es la cantidad de locales que no cumplen con los niveles de disponibilidad establecidos por la compañía, es decir, aquellos con un InStock (IS) inferior al 96%. Durante las semanas de abastecimiento para la campaña, esta cifra aumenta en un 35% en comparación con las condiciones normales (ver Tabla 1 en Anexos).

Por otra parte, durante las semanas críticas de la campaña de Fiestas Patrias, se observa un incremento en la estadía promedio de los camiones, superando las 7,1 horas (ver Figura 1 en Anexos). Este aumento se atribuye a la mayor recepción de mercancía, lo que genera un aumento en la cantidad de camiones en los locales sin un aumento proporcional en la capacidad de almacenamiento. Como consecuencia, se acumulan camiones y se experimentan tiempos de espera prolongados para la descarga de productos.

Para profundizar en el impacto de la campaña, las Figuras 2 y 3 de los Anexos detallan el comportamiento del tipo de estadía antes y después de las Fiestas Patrias, respectivamente. Se destaca un aumento del 2,4% en la sobreestadía de los camiones, lo que equivale a aproximadamente 660 horas adicionales.

Finalmente, las devoluciones son otra consecuencia de una temporada crítica como la de Fiestas Patrias. La Figura 4 de los Anexos revela que durante las semanas críticas de la campaña se registraron más de 14 devoluciones, siendo la semana 36 el período con el mayor número, alcanzando las 24 devoluciones. Bodegas colapsadas o la sobreestadía de camiones son los principales motivos de este fenómeno.

1.3 Contexto de la oportunidad

Este proyecto surge por la ineficiencia en la planificación de frecuencias de abastecimiento durante temporadas críticas en las campañas de Walmart Chile. Esto impacta negativamente en la operación de las tiendas, provocando colapsos en tiendas y disminuyendo los niveles de cumplimiento del FixPlanning. La situación brinda la oportunidad de desarrollar un sistema integral capaz de sugerir frecuencias de abastecimiento para temporadas de alta demanda (campañas). El objetivo es lograr un funcionamiento más eficiente de la distribución de la mercadería y medir los impactos de la sugerencia en las tiendas en función de la capacidad de almacenamiento.

2. Objetivos

El principal deseo de este proyecto consiste en evaluar la modificación del plan de frecuencias de cara a los períodos de campaña, con tal de reducir la cantidad de locales colapsados y mejorar indicadores del FixPlanning.

2.1 Objetivo general (SMART)

Desarrollar e implementar un sistema de sugerencias de plan de frecuencias, cuyo propósito es evaluar la modificación del FixPlanning para cada combinación CD-Local, medir el impacto de esta nueva planificación en las tiendas y mantener un Cumplimiento del FixPlanning mayor o igual al 100%, en un plazo de cinco meses.

2.2 Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general descrito, es esencial abordar dos objetivos específicos. El primero consiste en identificar las variables determinantes en la planificación de frecuencias de abastecimiento y crear clústeres basados en la venta y capacidad de almacenamiento. El segundo objetivo específico implica la creación de una herramienta que, mediante un modelo matemático, genere una sugerencia de frecuencias de envío de mercadería factibles. Este enfoque tiene como propósito hacer frente a los periodos de alta demanda y mitigar los colapsos en las tiendas.

2.3 Medidas de desempeño

El objetivo general se medirá a través del indicador de Cumplimiento del plan de frecuencias (FixPlanning), en donde, se busca un Cumplimiento >100%.

$$\text{Cumplimiento} = \frac{\text{Cantidad de días despachados según Fix}}{\text{Cantidad de días planificados según Fix}}$$

Con respecto a los objetivos específicos, se busca conseguir un 80% de factibilidad de las sugerencias que entregue la herramienta y disminuir en un 10% la cantidad de locales colapsados (OTS<100%), midiéndose a través de los siguientes indicadores:

$$\% \text{ Factibilidad} = \frac{\text{Nº de combinaciones CD – Local factibles}}{\text{Nº de combinaciones CD – Local sugeridas}}$$

$$\text{Open To Ship (OTS)} = \frac{\text{Ubicaciones ocupadas}}{\text{Ubicaciones totales}}$$

3. Estado del arte

Para llevar a cabo de manera efectiva el desarrollo e implementación de este proyecto, es fundamental realizar una investigación sobre cómo la industria y las empresas enfrentan la problemática en cuestión o situaciones similares. En este sentido, se han examinado varios casos de estudio y los tópicos abordados en las soluciones propuestas en ellos.

El primer caso de estudio se centra en una compañía farmacéutica en Chile, abordando una problemática asociada a la ineficiencia en el despacho de productos. Según los autores, el objetivo del proyecto corresponde al desarrollo de una política de envío de mercaderías desde el Centro de Distribución a los locales de la Región Metropolitana, considerando aspectos como días de abastecimiento, tiempo de traslado entre locales, tiempos de auditoría de pedidos y restricciones de ventanas de tiempo de recepción por local (Rojas Ratinoff, A. P. G. 2014).

La solución propuesta se compone de un sistema dividido en cuatro partes (ver Figura 7), con dos ejes principales:

1. Levantamiento de información: Se recopilan todos los datos necesarios y se analiza la situación actual de la red de suministro de la empresa, considerando variables como ventas, locales, productos, flota de transporte y rutas.
2. Modelamiento matemático: Se propone abordar la problemática mediante la comparación de dos metodologías; una es la heurística de Clarke and Wright (detalles del modelo en anexos), conocida como "Heurística de ahorros" según los autores. La otra corresponde a un modelo de programación mixta (MIP). Ambas metodologías enfrentan el Problema de Ruteo de Vehículos con Ventanas de Tiempo (VRPTW), con el fin de reasignar eficientemente los recursos en base a diversas restricciones.

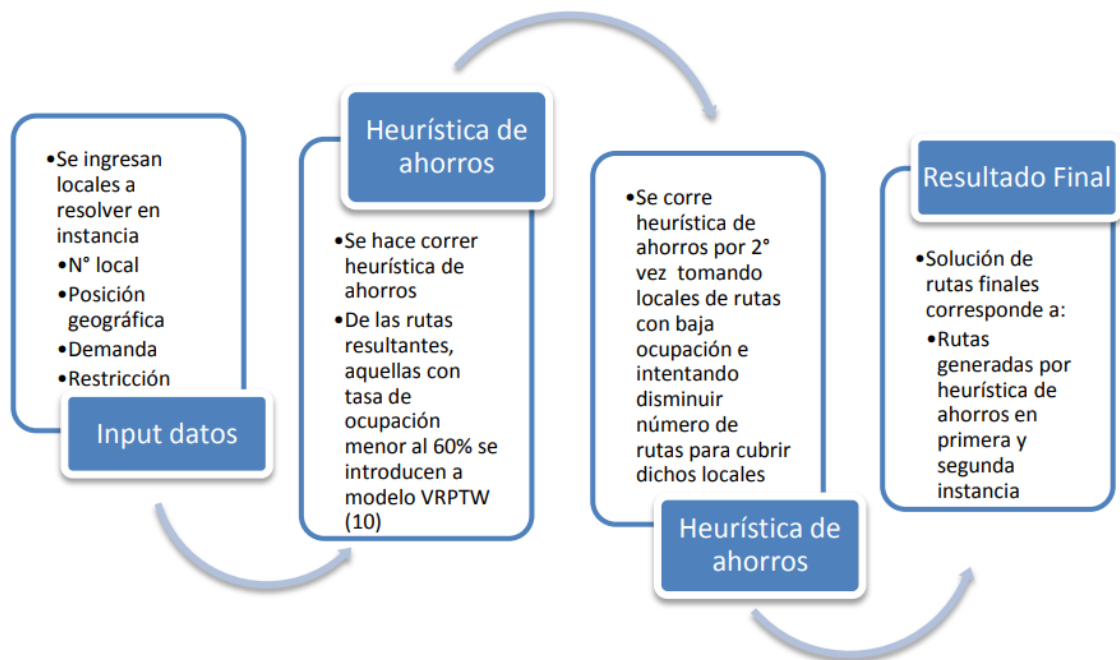


Figura 7: Descripción del sistema propuesto como solución en primer artículo (Fuente: Rojas Ratinoﬀ, A. P. G. 2014)

Finalmente, los autores Rojas Ratinoﬀ y A.P.G concluyen que la implementación de la heurística de ahorros proporciona mayores reducciones en los costos de transporte (11.3% mensual frente al 4% mensual del modelo matemático exacto). Asimismo, sugieren implementar estas metodologías mensualmente para adaptarse a las estacionalidades en los niveles de venta, con una tasa de ocupación promedio del 71.8%.

El segundo caso de estudio se enfoca en la búsqueda de un método eficiente para gestionar las frecuencias y cantidades de abasto de mercadería en la empresa Gollo Unicomer Costa Rica, debido al crecimiento significativo de la demanda y, a su vez, al aumento en el número de puntos de venta (PDV) que experimenta la empresa. Este escenario ha puesto de manifiesto la ineficiencia del plan de frecuencias existente para hacer frente a este incremento tanto en la demanda como en los PDV, dando lugar a problemas tales como desabastecimiento y excedentes de mercadería en diversos puntos de venta.

Los autores del artículo proponen un sistema integral de optimización de la red de distribución, estructurado en cuatro fases fundamentales ilustradas en la Tabla 4.

Etapas de la propuesta	Descripción
Estandarización	Documentación de recorridos
	Mapeo de PDV, creación de zonas y análisis de clústeres
	Cálculo de cubicajes por línea
Programación de abasto	Fase I: Pronóstico
	Fase II: Configuración de abastecimientos
	Fase III: Sistema de operación
	Fase IV: Coordinación de recursos
Herramienta y base de datos	Herramienta propuesta
	Manual de uso de la herramienta
	Ficha técnica
Plan de capacitación	Temas por abordar en la capacitación

Tabla 4: Sistema propuesto como solución en segundo artículo (Fuente: Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. 2019)

En la fase de estandarización, los autores Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. resaltan la importancia de crear clústeres y mapear puntos de venta como un valor añadido para mejorar la comprensión y organización en decisiones de transporte, tonelaje de camiones, estimación de tiempos y servicios.

En la programación de abasto, se implementa un modelo de frecuencias de cuatro fases con el fin de optimizar la red de distribución. En la Fase I, mediante una regresión lineal con estacionalidad, se pronostica la demanda futura, identificando periodos de alta demanda. Se crea un gráfico de Pareto para visualizar qué productos impulsan la demanda para Luego, validar la alineación de surtidos en los puntos de venta, buscando ajustes para evitar desajustes en la demanda y niveles de inventario desfasados. En la fase II, se diseña la propuesta de frecuencias y cantidades de abasto, ajustando los cubicajes según la demanda por la línea de producto, debido a desfases en las existencias de los Puntos de Venta (PDV) (Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. 2019). Calculado el cubicaje promedio por la línea de producto (m^3), se determinan las cantidades a abastecer considerando la capacidad del PDV, cubicaje de la tienda, demanda mensual por la línea de producto (DML), existencia en el PDV, tasa de rotación semanal, distancia máxima desde el Centro de Distribución (CEDI) y cubicaje del camión. En la Fase III, se evalúa el impacto previsto de la frecuencia de abastecimiento calculada en la Fase II. Durante este proceso, se calculan indicadores relacionados con la eficiencia del plan de frecuencias, como el cumplimiento de entrega, el cumplimiento del plan de frecuencias y la puntualidad. En la Fase IV, se lleva a cabo la asignación de tareas y el mapeo de los participantes en todo el proceso. El

objetivo es asegurar la actualización constante y el funcionamiento adecuado de la programación de abastos. La representación visual de este proceso clave proporciona una guía para coordinar la cadena de suministro y garantizar la implementación exitosa del proyecto. Para ello, se desarrolla un modelo en Excel con Macros, permitiendo que la gerencia de la compañía revise y valide los resultados.

Finalmente, los resultados del proyecto revelan que la implementación del sistema propuesto alcanza un éxito del 69,23%, indicando una probabilidad significativa de aceptación por parte de la gerencia y el equipo de ingenieros de la compañía. La conclusión principal es que el modelo sugiere ajustar las visitas a las tiendas según la demanda semanal, lo que resulta en un ahorro anual en costos de transporte. Asimismo, se destaca que la actualización del mapeo de puntos de venta y la creación de zonas y clústeres mejoran la operación logística al facilitar la identificación y el análisis específicos.

El tercer caso de estudio examina la necesidad de desarrollar un enfoque metodológico para la modelación multicriterio de recursos restrictivos en el sistema logístico de empresas comercializadoras. Se destaca la relevancia de fusionar conocimientos teóricos de gestión logística y modelación matemática para abordar los retos actuales en un entorno caracterizado por la globalización, la competencia y las transformaciones tecnológicas.

Se introduce la Investigación de Operaciones (IO) como una herramienta vital para la toma de decisiones en la gestión de operaciones y se presenta la modelación multicriterio como un paradigma alternativo que posibilita una representación más precisa de los procesos de decisión en la logística. En este contexto, se enfatiza que la modelación multicriterio se convierte en una herramienta poderosa para la toma de decisiones, especialmente en la gestión de recursos para mejorar la eficiencia y eficacia logística.

A través de un análisis exhaustivo de la literatura existente, se identifican deficiencias en la aplicación de enfoques multicriterio en la gestión logística de empresas comercializadoras y como respuesta a esta brecha, el artículo propone un procedimiento en dos etapas y cuatro pasos para la modelación multicriterio de recursos restrictivos, los cuales se ilustran en la Figura 8.



Figura 8: Diagrama del procedimiento de solución del tercer artículo (Fuente: Elaboración Propia)

1. Identificación de recursos y criterios
2. Aplicación de métodos para la selección de recurso
3. Determinación de pesos mediante métodos objetivos y subjetivos
4. Aplicación de técnicas de análisis de conglomerados (método de Analytic Hierarchy Process (AHP) de Saaty) y análisis de Pareto para seleccionar los recursos que serán objeto de modelación.

En conclusión, el artículo presenta un enfoque metodológico innovador que integra la gestión logística con técnicas multicriterio, proporcionando un procedimiento detallado para la modelación de recursos restrictivos en empresas comercializadoras. Este enfoque se vislumbra como un valioso aporte para mejorar la toma de decisiones tácticas y fomentar la integración eficiente de procesos logísticos en el entorno empresarial actual.

El último caso de estudio tiene desarrollo en una compañía de consumo masivo, en el cual se aborda una problemática asociada a la inestabilidad de la capacidad de almacenamiento en un centro de distribución frente al aumento de la demanda en ciertas temporadas del año. Para esto, se propone como solución un sistema metodológico dividido en tres etapas.

En la primera etapa, se recomienda realizar un diagnóstico de la planificación actual. Esto incluye un análisis de autocorrelación de los diversos artículos del establecimiento y la generación de modelos de pronóstico para abordar la variabilidad en la demanda de productos con comportamientos diferentes (ver Figura 9).



Figura 9: Modelos de pronóstico analizados en el cuarto artículo (Fuente: Lizarazo Rico, Juan Manuel. 2020)

En la segunda etapa, se sugiere utilizar el modelo de Planificación y Administración de Requerimientos de Materiales (MRP) para equilibrar la oferta y la demanda de la mercadería. Destaca la importancia de calcular el stock de seguridad para abordar posibles incumplimientos de proveedores. Además, se recomienda elaborar un diagrama de Pareto para categorizar y establecer prioridades en los artículos según su rotación de venta.

En la tercera etapa, se aplica el modelo de Planificación de Ventas y Operaciones (S&OP) como un enfoque integral. En este enfoque, todas las áreas de la empresa se alinean para alcanzar objetivos comunes. La sincronización entre áreas se presenta como clave para una planificación clara en el abastecimiento del Centro de Distribución, evitando inventarios elevados y mejorando la capacidad de reacción ante la demanda. Específicamente, se sugiere establecer una comunicación efectiva entre las áreas estratégicas de ventas y suministros, como Comercial, Logística, Operaciones, Finanzas y Recursos Humanos.

Finalmente, se concluye que la metodología propuesta como solución establece una correcta relación entre la generación de pronósticos de ventas, la ejecución del MRP y la aplicación del S&OP permitiendo una planificación coordinada, evitando excesos de inventario que afecten la capacidad de almacenamiento y generen reprocesos, los cuales impactan negativamente en los objetivos organizacionales. Asimismo, se redujeron los colapsos en el centro de distribución y se mejoró el cumplimiento de los distintos objetivos de la empresa.

4. Solución

En este capítulo, se presentan tres soluciones respaldadas por la literatura revisada previamente, abordando las diversas problemáticas vinculadas a este proyecto. Estas propuestas de solución abarcan distintos temas y metodologías, las cuales serán evaluadas en cuanto a su desarrollo e implementación, con el objetivo de seleccionar la opción más adecuada.

4.1 Alternativas de solución

La primera alternativa surge de la investigación llevada a cabo por Rojas Ratinoﬀ y A.P.G, quienes proponen la implementación de una heurística de ahorros y un modelo de programación mixta. Esta propuesta tiene el potencial de generar un impacto positivo en Walmart Chile al optimizar las rutas de los camiones y reducir los costos variables de transporte. Además, al tratarse de modelos matemáticos, los resultados convergen a ser precisos. No obstante, es crucial destacar que esta solución se centra en la optimización del ruteo de los camiones y no se realiza un estudio exhaustivo sobre las frecuencias de envío. Sumado a eso, la aplicación de esta metodología requiere de tecnología avanzada, softwares especializados y personal capacitado para su utilización. En la actualidad, Walmart Chile no cuenta con los recursos tecnológicos necesarios para llevar a cabo la implementación de esta solución, por lo que se recomienda no desarrollarla.

Como segunda alternativa, basándonos en los estudios de casos, particularmente en la investigación realizada por Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F., se propone la implementación de un sistema integral de sugerencia del plan frecuencias de abastecimiento. En términos generales, esto conlleva la recopilación de datos, análisis de variables involucradas, agrupación de locales según su capacidad de almacenamiento y volumen de ventas, la aplicación de un modelo matemático para determinar la frecuencia de suministro semanal para cada local junto al impacto en el almacenamiento, y posteriormente compartir los resultados con las partes involucradas para obtener retroalimentación sobre la propuesta. Esta solución plantea un enfoque práctico para mejorar la planificación de la distribución de productos, sin la necesidad de tecnología sofisticada o largos períodos de implementación. Sin embargo, se requiere una herramienta que permita visualizar y dar seguimiento a los resultados después de la implementación, con el fin de identificar oportunidades de mejora.

En cuanto a la tercera alternativa, se basa en un enfoque metodológico, como se describe en el artículo de Lizarazo Rico y Juan Manuel. Este método utiliza pronósticos de ventas para comprender el comportamiento de los productos en temporadas de alta demanda, un modelo de planificación de requerimientos de materiales (MRP) para determinar la cantidad de pedidos necesarios, y un modelo de planificación de ventas y operaciones para alinear las distintas tareas de las partes involucradas en el proceso. Esta solución ofrece un enfoque estratégico dentro de la empresa, pero su implementación se ve dificultada en este proyecto, ya que requiere coordinación y gestión de la comunicación entre las partes interesadas, lo que conlleva un considerable tiempo de implementación para observar resultados.

4.2 Solución escogida

Tras considerar las tres soluciones presentadas, se ha optado por avanzar con la segunda alternativa, la cual implica el desarrollo de un sistema integral de sugerencia del plan de frecuencia de los locales, especialmente durante períodos de alta demanda. Esta decisión se fundamenta en su capacidad para abordar de manera exhaustiva los desafíos del proyecto en relación con la planificación de las frecuencias de despacho, garantizando el cumplimiento de sus objetivos. Además, la viabilidad de implementar esta solución se percibe como sólida en términos tecnológicos, económicos y de plazos.

Es crucial resaltar que la empresa dispone de los recursos adecuados para ejecutar la implementación de esta alternativa. Se anticipa que este enfoque permitirá resolver de manera efectiva el problema identificado en el estudio de caso, particularmente en el ámbito de la cadena de suministro de Walmart Chile.

5. Desarrollo de la solución

En esta sección, se profundiza en la solución elegida, proporcionando detalles sobre su metodología y resaltando la ingeniería incorporada en la misma. Además, se presenta un plan de implementación detallado de la propuesta, se realiza un análisis exhaustivo de los riesgos asociados y se lleva a cabo una evaluación económica de la solución.

5.1 Metodología

Como se detalla en la Tabla 2, en Walmart Chile, cada Centro de Distribución (CD) está asignado a un conjunto específico de locales, considerando el formato y el tipo de mercadería almacenada en el CD. Con esta información, se espera que los resultados del sistema proporcionen un nuevo plan de frecuencias semanal para cada combinación CD-Local, especialmente antes de períodos de alta demanda y flujo de mercadería. Además, se anticipa analizar los posibles impactos que esto podría tener en las bodegas de los puntos de venta para respaldar la toma de decisiones.

La ejecución de la solución se centra en el segmento ACP, en el Centro de Distribución 6009 para el formato Líder y el CD 6020 para los formatos Acuenta, Express y Express-400. Esto se debe a que es el segmento donde se concentran las ventas, y esos CD son los que presentan los principales problemas en los planes de frecuencia.

Los datos involucrados en la metodología del sistema incluyen información de los años 2022 y 2023 en períodos de alta demanda, es decir, durante las campañas de Walmart Chile. Estos datos se utilizarán para analizar el comportamiento de los parámetros y variables relevantes, así como para obtener información sobre los pronósticos de ventas (Forecast) y el flujo de mercadería futuro. La información se extraerá de bases de datos almacenadas en Google BigQuery, Teradata y hojas de cálculo en Excel.

Para implementar y desarrollar este proyecto correctamente, se plantean cinco fases principales, las cuales se ilustran en la Figura 10:

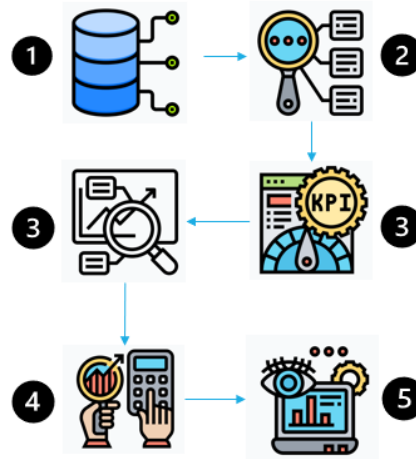


Figura 10: Diagrama ilustrativo de la solución propuesta (Fuente: Elaboración Propia)

1. Levantamiento de información de parámetros involucrados a través de las bases de datos de la compañía.
2. Clusterización de locales según su capacidad de almacenaje y niveles de venta.
3. Identificación de variables influyentes para el modelo matemático.
4. Generación de la sugerencia del plan de frecuencias para cada combinación CD-Local.
5. Resultados finales sujeto a restricciones del FixPlanning y medición del impacto.

En la primera fase, se recopilan los locales que reciben mercadería del segmento ACP proveniente de los CD 6009 y 6020, especificando su formato. Posteriormente, se obtiene la zona asignada a cada local (dependiendo de la región), el FixPlanning de cada tienda, la capacidad de los carros (contenedores) en cajas, las proyecciones del flujo de camiones desde la semana actual hasta la tercera semana siguiente, incluyendo los valores mínimo, máximo y promedio. También se recopila el OTS promedio y máximo del año 2023, el inventario máximo en metros cúbicos (m3), el inventario máximo registrado en cajas, el inventario de cajas necesario para alcanzar un OTS del 100%, y el porcentaje del OTS por camión, el cual indica qué parte del almacenamiento de un local se distribuye por camión

$$\% \text{ OTS por camión} = \frac{\text{Capacidad Carros}}{\text{Inv Cajas OTS } 100}$$

La Figura 11 exhibe una captura de pantalla de Excel, acompañada de la información mencionada anteriormente. En esta representación visual, se destacan los resultados de las consultas de Google BigQuery que están integradas con el software.

LOCAL	FORMATO	ZONA	CD	FIX	CAPACIDAD CARRIOS	FLUJO TW (49)	FLUJO WK-1	FLUJO WK-2	FLUJO WK-3	FLUJO MIN	FLUJO MAX	FLUJO PROM	dew	OTS MAX	OTS PROM	INV MAX M3	INV MAX CAJAS	INV CAJAS OTS 100	OTS x CAMION
121	LIDER	SUR	6009	6	2300	10	9	10	9	9	10	10	0.42	162%	100%	1840.83	61361	37957	6.06%
75	LIDER	CERO	6009	6	2300	15	13	16	17	13	17	15	1.33	139%	102%	1715.92	57197	41128	5.59%
97	LIDER	CERO	6009	5	2300	10	12	11	10	10	12	11	0.84	115%	88%	1884.96	62165	54875	4.13%
607	LIDER	CERO	6009	5	2300	8	8	8	8	8	8	8	0.80	138%	108%	766.18	25473	18742	12.27%
86	LIDER	CERO	6009	5	2300	7	7	7	7	7	7	7	0.29	129%	103%	747.35	24912	19268	11.84%
53	LIDER	NORTE	6009	5	2200	6	6	6	7	6	7	6	0.34	139%	88%	833.53	27784	19940	11.03%
3	LIDER	CERO	6009	6	1300	10	11	10	10	10	11	10	0.44	120%	95%	1044.37	34812	29064	4.47%
616	LIDER	CERO	6009	3	1300	6	6	6	6	6	6	6	0.36	147%	98%	911.17	30372	20715	6.28%
35	LIDER	CERO	6009	6	2300	10	10	10	10	10	10	10	0.14	139%	111%	1066.84	35561	25632	8.97%
33	LIDER	NORTE	6009	5	2300	9	8	8	9	8	9	9	0.53	108%	81%	1549.94	51665	48030	4.79%
37	LIDER	CERO	6009	4	2300	7	7	7	7	7	7	7	0.18	151%	110%	761.91	25397	18896	15.64%
654	LIDER	CERO	6009	4	2300	8	9	9	9	8	9	9	0.33	131%	103%	898.47	29949	21863	10.08%
71	LIDER	CERO	6009	6	1150	8	9	8	8	8	9	8	0.28	117%	96%	995.33	33178	28312	4.08%
88	LIDER	CERO	6009	6	2300	10	11	10	9	9	11	10	0.80	141%	112%	1081.72	36057	25627	8.97%
978	LIDER	CERO	6009	3	2350	4	4	5	4	4	5	4	0.45	120%	92%	848.63	28288	23513	9.99%
157	LIDER	CERO	6009	6	2300	13	15	14	12	12	15	14	1.15	127%	94%	1659.18	55306	43548	5.28%
83	LIDER	CERO	6009	6	2300	16	17	17	18	16	18	17	0.52	113%	85%	2420.50	80683	71488	3.22%
44	LIDER	CERO	6009	6	2300	8	9	9	9	8	9	9	0.41	118%	96%	1317.18	43906	37141	6.19%
58	LIDER	CERO	6009	6	2300	16	14	17	16	14	17	16	0.94	106%	87%	2315.73	77191	72846	3.18%
32	LIDER	CERO	6009	6	1300	12	10	13	13	10	13	12	1.08	115%	89%	1462.28	48076	41739	3.11%
91	LIDER	NORTE	6009	5	2300	14	12	13	14	12	14	13	0.89	121%	99%	1849.23	61641	51008	4.51%
49	LIDER	CERO	6009	6	2300	12	12	13	13	12	13	13	0.53	117%	94%	1501.01	50034	42941	5.36%
688	LIDER	NORTE	6009	4	2300	6	7	7	7	6	7	7	0.21	140%	108%	984.55	32818	21651	10.15%
632	LIDER	CERO	6009	6	1300	6	6	7	7	6	7	7	0.61	122%	98%	902.64	30088	24712	5.26%
602	LIDER	CERO	6009	4	2300	6	5	6	6	5	6	5	0.48	125%	106%	826.60	27553	20426	11.26%
75	LIDER	CERO	6009	6	2300	11	11	11	12	11	12	11	0.23	111%	87%	1548.39	51613	46436	4.95%
626	LIDER	CERO	6009	5	1300	8	7	9	8	7	9	8	0.53	119%	95%	1103.26	36775	30830	4.22%
456	LIDER	SUR	6009	3	2300	3	4	4	4	3	4	4	0.16	128%	91%	1041.54	34718	27176	8.46%
628	LIDER	CERO	6009	4	2300	7	8	7	6	6	8	7	0.45	146%	104%	887.61	29587	20328	11.31%
137	LIDER	CERO	6009	4	2100	6	7	7	7	6	7	7	0.19	130%	104%	678.26	22609	17342	12.11%

Figura 11: Hoja de cálculo en Excel que muestra el desarrollo de la primera fase del sistema (Fuente: Elaboración Propia)

En la segunda fase, se lleva a cabo la clusterización de los locales, es decir, se clasifican y agrupan las tiendas según su capacidad de almacenamiento y volumen de ventas. El propósito de este procedimiento es comprender la capacidad de recepción de las tiendas. Para llevar a cabo esta fase, se emplea el algoritmo K-means, reconocido como el más utilizado en la creación de clústeres, utilizando una medida explícita de distancia para particionar los conjuntos de datos en clústeres, según lo define IBM. Este proceso se realiza a través de Python, resultando en tres grupos: normales, compactos y super-compactos. Gracias al equipo de BI&Data, se incorpora esta clasificación en una consulta que recopila información de todos los locales de la compañía, y la Figura 12 ejemplifica este proceso.


```

SELECT
STORE_NBR
,FORMATO_CL
,CLASIFICACION_ACP
FROM `vmt-edw-sandbox.WM_AD_HOC_K2_OSC.COMPACTOS_CL`

```

STORE_NBR	FORMATO_CL	CLASIFICACION_ACP
952	LIDER	SUPER COMPACTO
993	LIDER	SUPER COMPACTO
635	LIDER	SUPER COMPACTO
41	LIDER	COMPACTO
679	LIDER	COMPACTO
78	LIDER	COMPACTO
97	LIDER	NORMAL
57	LIDER	SUPER COMPACTO
86	LIDER	SUPER COMPACTO
81	LIDER	NORMAL
88	LIDER	SUPER COMPACTO
71	LIDER	SUPER COMPACTO
459	LIDER	SUPER COMPACTO
33	LIDER	NORMAL
626	LIDER	SUPER COMPACTO
55	LIDER	SUPER COMPACTO
91	LIDER	COMPACTO
95	LIDER	COMPACTO
988	LIDER	SUPER COMPACTO
3	LIDER	SUPER COMPACTO
655	LIDER	SUPER COMPACTO

Figura 12: Ilustración de los resultados de la clusterización en fase dos, consulta ejecutada en TeraData
(Fuente: Elaboración Propia)

En la tercera fase, se procede a identificar y seleccionar las variables que ejercen una mayor influencia en la planificación de las frecuencias de abastecimiento. Estas variables se utilizan posteriormente en el modelo matemático asociado a un análisis multicriterio. La Figura 13 ilustra el proceso de obtención de estas variables, llevado a cabo en colaboración con una de las especialistas del equipo y la subgerenta, quienes poseen un profundo conocimiento de los formatos y operaciones del negocio. Finalmente, se han elegido las siguientes variables:

1. *Llenado de mercadería semanal* = %OTS por camión ×
Flujo promedio futuro de camiones

2. *Rotación de ventas* = $\frac{\text{Venta total last week (cajas)}}{\text{Inventario last week (cajas)}}$

3. *Clasificación*: Toma valor 1 si es normal, 2 si es compacto o 3 si es super compacto

4. *% Ruteo* = % de la mercadería del contenedor que se almacena en el local

5. *Loss*: Tiempo total de distribución de mercadería

LOCAL	FORMATO	ZONA	CD	FIX	LLENADO DE MERCADERIA	ROT VENTA LIDER	CLASIFICACIÓN	% RUTEO	LOSS
121	LIDER	SUR	6009	6	0.61	0.43	2.00	1.00%	8.36
73	LIDER	CERO	6009	6	0.84	0.68	2.00	1.00%	2.22
97	LIDER	CERO	6009	5	0.46	0.41	1.00	2.00%	1.86
607	LIDER	CERO	6009	5	0.98	0.65	3.00	4.00%	1.85
86	LIDER	CERO	6009	5	0.84	0.56	3.00	3.00%	2.75
53	LIDER	NORTE	6009	5	0.66	0.55	3.00	37.00%	3.29
3	LIDER	CERO	6009	6	0.45	0.65	3.00	0.00%	2.15
616	LIDER	CERO	6009	3	0.38	0.53	2.00	0.00%	2.44
35	LIDER	CERO	6009	6	0.90	0.51	3.00	26.00%	2.30
33	LIDER	NORTE	6009	5	0.43	0.51	1.00	24.00%	4.41
37	LIDER	CERO	6009	4	0.96	0.65	2.00	9.00%	2.24
654	LIDER	CERO	6009	4	0.91	0.51	3.00	0.00%	2.57
71	LIDER	CERO	6009	6	0.32	0.58	3.00	0.00%	1.80
88	LIDER	CERO	6009	6	0.90	0.47	3.00	4.00%	3.02
978	LIDER	CERO	6009	3	0.40	0.33	1.00	69.00%	2.71
57	LIDER	CERO	6009	6	0.74	0.54	3.00	0.00%	1.68
83	LIDER	CERO	6009	6	0.55	0.58	2.00	1.00%	1.52
44	LIDER	CERO	6009	6	0.56	0.52	2.00	5.00%	1.97
58	LIDER	CERO	6009	6	0.51	0.40	2.00	18.00%	1.75
32	LIDER	CERO	6009	6	0.37	0.65	3.00	0.00%	1.95
91	LIDER	NORTE	6009	5	0.59	0.70	2.00	6.00%	3.67
49	LIDER	CERO	6009	6	0.70	0.56	3.00	7.00%	1.86
686	LIDER	NORTE	6009	4	0.71	0.52	3.00	39.00%	3.36
632	LIDER	CERO	6009	6	0.37	0.56	3.00	2.00%	2.07
602	LIDER	CERO	6009	4	0.56	0.52	2.00	4.00%	1.93
75	LIDER	CERO	6009	6	0.54	0.55	3.00	20.00%	1.69
626	LIDER	CERO	6009	5	0.34	0.35	3.00	0.00%	1.76

Figura 13: Excel con las variables a utilizar en la fase cuatro (Fuente: Elaboración Propia)

Posteriormente, en la fase cuatro, se lleva a cabo un análisis multicriterio con las variables previamente seleccionadas, asignando un peso específico a cada una. Es importante destacar que el valor de cada variable compite según la clasificación del local, generando una matriz de rangos para su evaluación. La Figura 14 proporciona una representación visual de este proceso aplicado al llenado de mercadería, siendo análogo para las demás variables, y se emplea la siguiente fórmula de rango:

$$\text{Rango} = \text{Min} + \frac{(\text{Max} - \text{Min})}{\text{N}^\circ \text{ Rangos}}$$

LLENADO DE MERCADERIA				
CLASIFICACIÓN	MIN (R0)	RANGO 1	RANGO 2	MAX (R3)
NORMAL	22.64%	30.46%	35.67%	46.10%
COMPACTO	25.77%	49.02%	64.52%	95.51%
SUPER COMPACTO	24.05%	48.76%	65.23%	98.17%

LLENADO DE MERCADERIA			
CLASIFICACION	R0-R1	R1-R2	R2-R3
NORMAL	100%	60%	20%
COMPACTO	100%	60%	20%
SUPER COMPACTO	100%	60%	20%

Figura 14: Ponderación llenado de mercadería según clasificación y rangos en fase cuatro (Fuente: Elaboración Propia)

La interpretación de las variables es la siguiente:

- A mayor Llenado de mercadería, mayor es el impacto en el local, por lo tanto, un valor más alto pondera menos.

- A mayor Rotación de venta, menor es el impacto en el local, por ende, un valor más alto pondera más.
- En cuanto a la Clasificación, se asignan ponderaciones del 100% para normal (1), 60% para compacto (2) y 20% para super compacto (3).
- A mayor % Ruteo, menor es el impacto en el local, entonces, un valor más alto pondera más.
- A mayor Loss, mayor es el impacto en el local, por lo tanto, un valor más alto pondera menos. Cabe destacar que esta variable se relaciona con la zona del local, no con su clasificación.

La Figura 15 ilustra la asignación de pesos para cada variable en función de los rangos, clasificaciones y zona. Además, se calcula la nota final ponderada, donde el Llenado de mercadería pondera un 55%, la Rotación de venta un 15%, la Clasificación un 15%, el % Ruteo un 10%, y el Loss un 5%. A medida que la nota final aumenta, el local se posiciona como un mejor candidato para reducir su frecuencia en una unidad.

					55%	15%	15%	10%	5%	
LOCAL	FORMATO	ZONA	CD	FIX	NOTA LLENADO	NOTA ROT VENTA	NOTA CLASIFICACIÓN	NOTA % V.RUTEO	NOTA DE LOSS	NOTA FINAL
121	LIDER	SUR	6009	6	60%	20.00%	60.00%	20.00%	20.00%	48.00%
73	LIDER	CERO	6009	6	20%	100.00%	60.00%	20.00%	100.00%	42.00%
97	LIDER	CERO	6009	5	20%	100.00%	100.00%	20.00%	100.00%	48.00%
607	LIDER	CERO	6009	5	20%	100.00%	20.00%	20.00%	100.00%	36.00%
86	LIDER	CERO	6009	5	20%	100.00%	20.00%	20.00%	60.00%	34.00%
53	LIDER	NORTE	6009	5	20%	100.00%	20.00%	60.00%	100.00%	40.00%
3	LIDER	CERO	6009	6	100%	100.00%	20.00%	20.00%	100.00%	80.00%
616	LIDER	CERO	6009	3	100%	100.00%	60.00%	20.00%	60.00%	84.00%
35	LIDER	CERO	6009	6	20%	60.00%	20.00%	60.00%	100.00%	34.00%
33	LIDER	NORTE	6009	5	20%	100.00%	100.00%	20.00%	60.00%	46.00%
37	LIDER	CERO	6009	4	20%	100.00%	60.00%	20.00%	100.00%	42.00%
654	LIDER	CERO	6009	4	20%	60.00%	20.00%	20.00%	60.00%	28.00%
71	LIDER	CERO	6009	6	100%	100.00%	20.00%	20.00%	100.00%	80.00%
88	LIDER	CERO	6009	6	20%	60.00%	20.00%	20.00%	20.00%	26.00%
978	LIDER	CERO	6009	3	20%	20.00%	100.00%	100.00%	60.00%	42.00%
57	LIDER	CERO	6009	6	20%	100.00%	20.00%	20.00%	100.00%	36.00%
83	LIDER	CERO	6009	6	60%	100.00%	60.00%	20.00%	100.00%	64.00%
44	LIDER	CERO	6009	6	60%	60.00%	60.00%	20.00%	100.00%	58.00%

Figura 15: Obtención de las ponderaciones para cada variable y su nota final (Fuente: Elaboración Propia)

Después de calcular la nota final, se procede a determinar la recomendación en función de su valor de la siguiente manera:

- Si la nota final es mayor o igual al 80%, se sugiere reducir su frecuencia en una unidad.
- Si la nota final es mayor o igual al 48% y menor al 80%, se debe mantener la frecuencia.
- Si la nota final es menor al 48%, se sugiere aumentar su frecuencia en una unidad.

Posteriormente, se asigna un valor binario para cada recomendación, ya sea bajar, mantener o subir una unidad de frecuencia, siendo un 1 un “Si” y 0 un “No”.

En la quinta fase, se aplican las restricciones establecidas por la compañía, que incluyen un mínimo de tres y un máximo de seis frecuencias a la semana. Finalmente, se compara el porcentaje de llenado de mercadería con la frecuencia antigua versus la frecuencia nueva otorgada por el sistema.

La Figura 16 ilustra la presentación de los resultados, siendo la columna "Delta FA-FN" la que indica si se ajusta o no la frecuencia actual; cuando es diferente de 0, implica un cambio.

LOCAL	FORMATO	ZONA	CD	FIX	NOTA FINAL	BAJAR (1)	MANTENER	SUBIR (1)	FIX ACTUAL (FA)	FIX NUEVO (FN)	% llenado x camión FA	% llenado x camión FN	DELTA FA-FN
121	LIDER	SUR	6009	6	48.00%	0	1	0	6	6	10.10%	10.10%	0
73	LIDER	CERO	6009	6	42.00%	0	0	1	6	6	13.98%	13.98%	0
97	LIDER	CERO	6009	5	48.00%	0	1	0	5	5	9.22%	9.22%	0
607	LIDER	CERO	6009	5	36.00%	0	0	1	5	6	19.63%	16.36%	-1
86	LIDER	CERO	6009	5	34.00%	0	0	1	5	6	16.71%	13.93%	-1
53	LIDER	NORTE	6009	5	40.00%	0	0	1	5	6	13.24%	11.03%	-1
3	LIDER	CERO	6009	6	80.00%	1	0	0	6	5	7.45%	8.95%	1
616	LIDER	CERO	6009	3	84.00%	1	0	0	3	3	12.55%	12.55%	0
35	LIDER	CERO	6009	6	34.00%	0	0	1	6	6	14.96%	14.96%	0
33	LIDER	NORTE	6009	5	46.00%	0	0	1	5	6	8.62%	7.18%	-1
37	LIDER	CERO	6009	4	42.00%	0	0	1	4	5	23.88%	19.10%	-1
654	LIDER	CERO	6009	4	28.00%	0	0	1	4	5	22.63%	18.11%	-1
71	LIDER	CERO	6009	6	80.00%	1	0	0	6	5	5.42%	6.50%	1
88	LIDER	CERO	6009	6	26.00%	0	0	1	6	6	14.96%	14.96%	0
978	LIDER	CERO	6009	3	42.00%	0	0	1	3	4	13.33%	9.99%	-1
57	LIDER	CERO	6009	6	36.00%	0	0	1	6	6	12.32%	12.32%	0
83	LIDER	CERO	6009	6	64.00%	0	1	0	6	6	9.12%	9.12%	0
44	LIDER	CERO	6009	6	58.00%	0	1	0	6	6	9.29%	9.29%	0
58	LIDER	CERO	6009	6	52.00%	0	1	0	6	6	8.42%	8.42%	0
32	LIDER	CERO	6009	6	80.00%	1	0	0	6	5	6.23%	7.47%	1
91	LIDER	NORTE	6009	5	64.00%	0	1	0	5	5	11.72%	11.72%	0
49	LIDER	CERO	6009	6	36.00%	0	0	1	6	6	11.61%	11.61%	0
686	LIDER	NORTE	6009	4	34.00%	0	0	1	4	5	17.77%	14.22%	-1
632	LIDER	CERO	6009	6	80.00%	1	0	0	6	5	6.14%	7.36%	1
602	LIDER	CERO	6009	4	58.00%	0	1	0	4	4	14.08%	14.08%	0
75	LIDER	CERO	6009	6	58.00%	0	1	0	6	6	9.08%	9.08%	0
626	LIDER	CERO	6009	5	68.00%	0	1	0	5	5	6.75%	6.75%	0
456	LIDER	SUR	6009	3	66.00%	0	1	0	3	3	11.28%	11.28%	0
628	LIDER	CERO	6009	4	30.00%	0	0	1	4	5	19.80%	15.84%	-1
137	LIDER	CERO	6009	4	32.00%	0	0	1	4	5	21.19%	16.95%	-1

Figura 16: Exposición de resultados del sistema (Fuente: Elaboración Propia)

5.2 Plan de implementación

El proceso de FixPlanning implica una planificación multidisciplinaria de frecuencias en la que participan equipos de Replenishment, Ingeniería, Transporte y Centro de Distribución (CD), bajo la supervisión del equipo de gerencia de BI&Data para garantizar la gobernanza de la información.

La solución consta de cuatro archivos Excel, los cuales se encuentran disponibles en el SharePoint utilizado por el equipo de Flujo E2E & Aperturas, el cual es una nube de almacenamiento compartida y en línea. Cada archivo aborda un Centro de Distribución (CD) específico correspondiente a un formato particular, enfocado en el segmento ACP. En el SharePoint los archivos se encuentran de la siguiente forma (ver Figura 5 en Anexos):

- Sugerencia frecuencias 6009 – Líder
- Sugerencia Frecuencias 6020 – Acuenta
- Sugerencia Frecuencias 6020 – Express
- Sugerencia Frecuencias 6020 – Express400

Dicho esto, es indispensable mencionar que la implementación de esta solución se desglosa en diversas fases:

1. Actualización y compartición Inicial:

- Abrir el archivo pertinente según las necesidades comerciales.
- Navegar a la pestaña "Datos" y seleccionar "Actualizar todo".
- Actualizar la tabla dinámica en la hoja Rolling.
- En la hoja principal de la herramienta, elegir las semanas futuras a evaluar.
- Compartir la propuesta de frecuencias con las partes involucradas.

2. Evaluación del Equipo de Planning:

- El equipo de Planning del CD y Transporte analiza la propuesta, evaluando cada local.
- Se mide el impacto y se determinan los días específicos de despacho.
- Se considera el feedback operacional de la tienda y el leadtime de despacho.

3. Revisión por Replenishment:

- La propuesta se remite a Replenishment y los departamentos de segmentos (PPS, ACP y GM).
- Se evalúa de acuerdo con las necesidades de cada local.

4. Ajustes en el Sistema Automático de Compra (GRS):

- Se ajustan los calendarios de compra en el sistema automático (GRS) según el feedback recibido.
- Se implementa la propuesta o se ajusta según sea necesario.

- Al concluir la campaña, se restablece el plan de frecuencias a su configuración normal durante períodos de demanda estándar.

5. Comunicación a las Tiendas:

- El equipo de flujo comunica a las tiendas los cambios en las frecuencias para su organización.

6. Seguimiento mediante Power BI:

- Se utiliza Power BI para dar seguimiento a los locales con frecuencia ajustada.
- El informe proporciona indicadores como disponibilidad, OTS, viajes potenciales, carros cargados y cumplimiento FixPlanning, entre otros.
- La Figura 17 presenta una visualización detallada de estos indicadores.

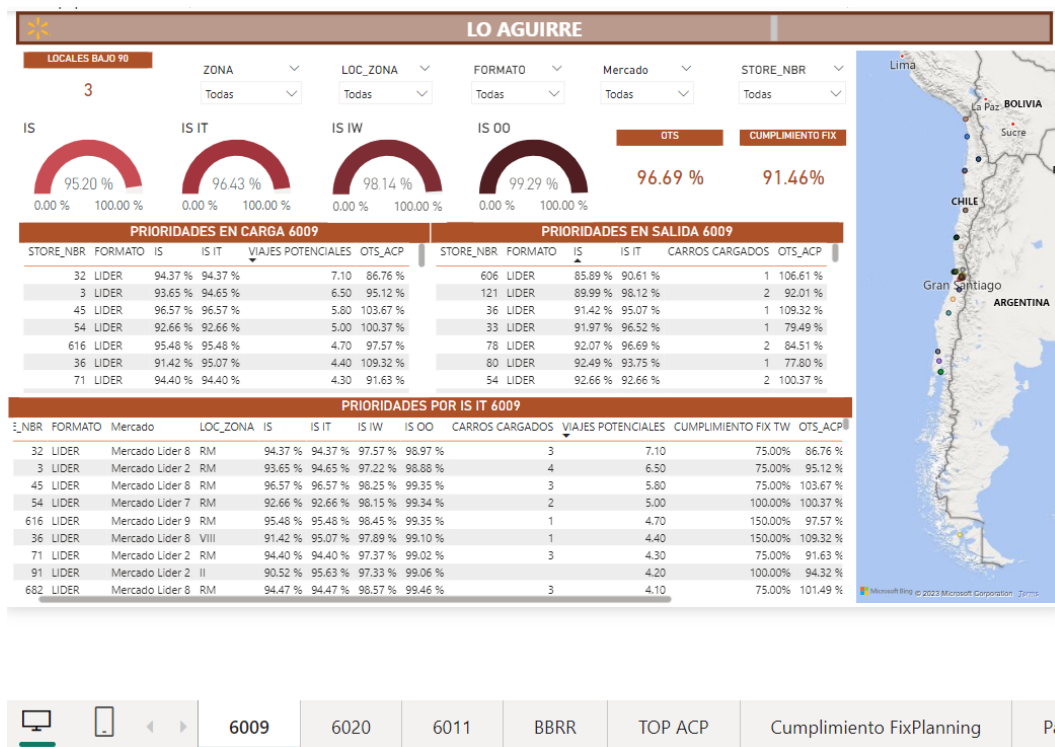


Figura 17: Power-BI seguimiento de locales (Fuente: Elaboración Propia)

Una oportunidad de mejora para esta implementación consistiría en la introducción de un informe diseñado para dar seguimiento a los cambios propuestos, asegurando su alineación con las modificaciones en los calendarios de compra de GRS. Actualmente, los informes de gestión

en la nube de Power BI incluyen un conjunto de tareas específicas para cada equipo, denominado DILO. La propuesta es integrar un mecanismo de seguimiento que permita a los colaboradores verificar de manera efectiva si los cambios propuestos se han reflejado correctamente en el calendario de compra del sistema de reabastecimiento automático (GRS).

5.3 Análisis de riesgo

En este apartado, se plantea una matriz de riesgos asociados a la implementación del proyecto, los cuales se ilustran en la Figura 18.

			IMPACTO				
			Insignificante	Menor	Significativo	Mayor	Severo
			1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	5	Casi seguro					
	4	Probable				Falta de comunicación entre áreas involucradas	
	3	Moderada		Resistencia al cambio	Ineficiencia del sistema		
	2	Poco Probable			Problemas técnicos		
	1	Raro					

Figura 18: Análisis de riesgo de la implementación del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

Un riesgo poco probable implica problemas técnicos en la solución, lo cual tendría un impacto considerable. Para que esto ocurra deben ocurrir inconvenientes en las bases de datos, el archivo Excel o Power-BI. En cuanto a los riesgos con probabilidad moderada, destaca la resistencia al cambio por parte de las partes involucradas, con un impacto menor ya que el funcionamiento del sistema no es complejo. Además, otro riesgo se relaciona con la posible ineficiencia del sistema, que tendría un impacto significativo. Finalmente, la falta de comunicación entre las partes involucradas constituye un riesgo probable, cuyo impacto puede ser considerable, dado que el funcionamiento del sistema depende de la colaboración entre todas las áreas.

5.4 Evaluación económica

El propósito de esta sección es llevar a cabo una evaluación económica comparativa entre la situación sin proyecto y la situación con el proyecto. Es importante destacar que cuantificar el impacto económico de este proyecto resulta complejo, sin embargo, con la asistencia de los especialistas del equipo, se logró realizar una estimación de la consecuencia monetaria.

Los supuestos asociados a los cálculos que se muestran en las Figuras 19, 20, 21 y 22 son los siguientes:

- Se asume un InStock de 96% en cada tienda
- Cantidad de locales críticos con un promedio de IS igual a 92% en temporadas de alta demanda igual a 254
- Cantidad promedio de ítems de un local: 9.700
- Diferencia entre IS con proyecto v/s IS sin proyecto = 4%
- Precio promedio de un artículo = \$18.000
- Costo de transporte por camión= \$3.000 por Km recorrido
- Km recorridos: promedio de 10KM por camión
- Frecuencia semanal: 5190

Situación con proyecto

	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Ventas (\$M)	\$ 496,546	\$ 583,210	\$ 508,632	\$ 611,097	\$ 504,990
Costo Transporte (\$M)	\$ 623	\$ 623	\$ 623	\$ 623	\$ 623
Beneficio proyecto(\$M)	\$ 216	\$ 216	\$ 216	\$ 216	\$ 216
NETO	\$ 496,139	\$ 582,803	\$ 508,225	\$ 610,690	\$ 504,583

Figura 19: Flujo de caja de situación con proyecto (Elaboración propia)

CON PROYECTO	
VAN	CAUE
\$ (2,679,364)	\$ (2,658,465.28)
\$ 2,679,364	

Figura 20: VAN y CAUE de situación con proyecto (Elaboración propia)

Situación sin proyecto

	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Ventas (\$M)	\$ 496,546	\$ 583,210	\$ 508,632	\$ 611,097	\$ 504,990
Costo Transporte (\$M)	\$ 623	\$ 623	\$ 623	\$ 623	\$ 623
NETO	\$ 495,923	\$ 582,587	\$ 508,009	\$ 610,474	\$ 504,367

Figura 21: Flujo de caja de situación sin proyecto (Fuente: Elaboración propia)

SIN PROYECTO	
VAN	CAUE
\$ (2,638,934.90)	\$ (2,618,351.21)
\$ 2,638,935	

Figura 22: VAN y CAUE de situación sin proyecto (Fuente: Elaboración propia)

En relación con el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), la situación sin proyecto tiene un CAUE ligeramente mayor a la situación con proyecto, lo cual indica que sus costos anuales asociados son un poco más altos que la situación con proyecto.

Con respecto al Valor Actual Neto (VAN), la situación sin proyecto tiene un VAN ligeramente menor a la situación con proyecto, lo que indica que la implementación del proyecto tiene mayor potencial de generación de valor.

Finalmente, se concluye que el proyecto es rentable, con una diferencia de VAN de \$40.429 (\$M) y de CAUE de \$40.114 (\$M).

6. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados de la solución, acompañados de las medidas de desempeño establecidas en la sección de objetivos. El objetivo es evaluar el éxito del proyecto y la efectividad del sistema propuesto.

6.1 Resultados del desarrollo de la solución

Durante la semana 47 del 2023, los locales 32 y 41 reportaron una baja en las ventas acumulada, por lo que la subgerenta del equipo Flujo E2E & Aperturas solicitó la evaluación de modificar sus frecuencias y ahí es donde el sistema planteado genera valor.

Los resultados de la herramienta indican que ambos locales son candidatos para bajar en una unidad su frecuencia de abastecimiento, tal como ilustra la Figura 23. Tal como se explicó en el capítulo 5.3, el valor “1” en la columna “BAJAR” indica que el local es candidato para disminuir en una unidad la frecuencia de abastecimiento semanal actual (FIX), por ende, esta se modifica y queda representado en la columna “FIX NUEVO (FN)”. Luego, en las columnas siguientes se muestra la variación del % de llenado de mercadería por camión con el FIX actual (FA) versus el FIX sugerido (FN).

LOCAL	FORMATO	CLASIFICACION	ZONA	CD	FIX	BAJAR (1)	MANTENER	SUBIR (1)	FIX ACTUAL (FA)	FIX NUEVO (FN)	% llenado x camión FA	% llenado x camión FN
32	LIDER	SUPER COMPACTO	CERO	6009	6	1	0	0	6	5	6.23%	7.47%
41	LIDER	COMPACTO	CERO	6009	6	1	0	0	6	5	8.05%	9.66%

Figura 23: Resultado sugerencia local 32 y 41 en semana 47 (Fuente: Elaboración Propia)

6.2 Evaluación de métricas de desempeño

El ajuste y la modificación de las frecuencias de los locales 32 y 41 se llevaron a cabo en la semana 48 tras un análisis exhaustivo de su implementación por parte de los involucrados. Este proceso arrojó un resultado del 100% en cuanto a la factibilidad de los resultados, tal como se buscaba en uno de los objetivos específicos. Posteriormente, a través de Power-BI, se realizó un seguimiento de los indicadores antes y después de la modificación. La Figura 24 ilustra la situación de las tiendas en la semana 48, mientras que la Figura 25 muestra dicha situación en la semana 49.

NBR	FORMATO	Mercado	LOC_ZONA	IS	IS IT	IS IW	IS OO	CARROS CARGADOS	VIAJES POTENCIALES	CUMPLIMIENTO FIX TW	OTS_ACP
32	LIDER	Mercado Lider 8	RM	94.37 %	94.37 %	97.57 %	98.97 %	3	7.10	75.00%	86.76 %
41	LIDER	Mercado Lider 1	RM	95.94 %	95.94 %	97.90 %	99.22 %	1	3.20	100.00%	80.48 %

Figura 24: Indicadores de tiendas ajustadas antes de la implementación, semana 48 (Fuente: Elaboración Propia)

NBR	FORMATO	Mercado	LOC_ZONA	IS	IS IT	IS IW	IS OO	CARROS CARGADOS	VIAJES POTENCIALES	CUMPLIMIENTO FIX TW	OTS_ACP
32	LIDER	Mercado Lider 8	RM	93.02 %	93.59 %	97.10 %	98.45 %	2	4.90	100.00%	79.25 %
41	LIDER	Mercado Lider 1	RM	95.92 %	95.92 %	97.81 %	98.87 %		1.00	100.00%	74.91 %

Figura 25: Indicadores de tiendas ajustadas después de la implementación, semana 49 (Fuente: Elaboración Propia)

A partir de las figuras, se evidencia que los resultados de la herramienta logran un 100% de cumplimiento para el nuevo FixPlanning, alcanzando así el objetivo general del proyecto. Además, como se destacó en el apartado anterior, se logra un 100% de factibilidad para el ajuste de ambos locales, y los niveles de OTS se mantienen por debajo del 100%, indicando la ausencia de colapsos en las bodegas. De este modo, se cumplen satisfactoriamente los objetivos específicos establecidos.

7. Conclusión

Gracias a la implementación del nuevo sistema de sugerencias del plan de frecuencias en el segmento ACP, se logró reducir en una unidad la frecuencia de abastecimiento para dos locales, alcanzando así el objetivo general de un cumplimiento del FixPlanning del 100% para ambas tiendas. Esta optimización fue posible gracias a la determinación de una factibilidad del 100% en las sugerencias propuestas entre las partes involucradas, sin provocar colapsos en las bodegas, es decir, manteniendo un nivel de OTS inferior al 100% para ambos locales.

Estos resultados destacan la funcionalidad y eficiencia del sistema creado, el cual se revela como una herramienta valiosa tanto para analizar locales susceptibles de reducir frecuencias y disminuir gastos de transporte, como para evaluar la posibilidad de aumentar frecuencias y ofrecer mayor disponibilidad de productos

El sistema, utilizado por el equipo de Flujo E2E & Aperturas, facilita el proceso de análisis y ajuste de frecuencias que a veces solicitan las tiendas, generando un valor significativo debido a su fácil comprensión y uso.

En relación con las limitaciones del proyecto, se focalizó en el segmento ACP, dado que concentra las mayores ventas en las tiendas. Además, la resistencia al cambio motivó la elección del software Excel, ya que es una herramienta ampliamente conocida y utilizada por todos los involucrados.

Las oportunidades de mejora del proyecto incluyen la posible migración del sistema a flujos de trabajo a través de software como Tableau Prep Builder o Dataiku, aunque se reconoce que no todos en la compañía poseen el conocimiento necesario para su utilización. Otra oportunidad es la expansión del sistema a los segmentos PPS y GM, con el objetivo de evaluar todos los segmentos y obtener un sistema más preciso y robusto.

Finalmente, el desarrollo del proyecto representó un proceso enriquecedor para el alumno como casi ingeniero y analista, ya que le permitió aplicar diversos conocimientos adquiridos durante su carrera, especialmente aquellos relacionados con Investigación y Gestión de Operaciones, Data Science y Estadística.

8. Referencias

- Rojas Ratinoff, A. P. G. (2014). Optimización de la política de despacho de compañía farmacéutica, desde centro de distribución hacia locales de región metropolitana.
- Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. (2019). Propuesta de planificación de frecuencias y cantidades para el abasto de mercadería a lo largo del territorio nacional mediante el análisis de clúster de la empresa Gollo del Grupo Unicomer Costa Rica.
- Lizarazo Rico, J. M. (2020). Propuesta metodológica para la planeación del abastecimiento de un centro de distribución en temporadas altas en una empresa de consumo masivo.
- Lao-León, Y. O. (2017). Procedimiento para modelar recursos restrictivos en el sistema logístico de empresas comercializadoras. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362017000100005&script=sci_arttext
- IBM Documentation. (2022, octubre 20). lbm.com. <https://www.ibm.com/docs/es/db2/11.5?topic=building-k-means-clustering>
- WalmartChile. (s/f). WalmartChile – Walmart Chile es uno de los principales actores en la industria de las ventas al por menor del país (retail); WalmartChile. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de <https://www.walmartchile.cl/>

10. Anexos

- Tabla 1: Cantidad de locales con IS<96% en semana 37 del 2023 (Campaña FF. PP).

CD	SEMANA	N° LOCALES CRÍTICOS EN IS
6009	37	61
6020	37	40
6011	37	110
6003	37	5
6004	37	30
6010	37	8

Tabla 1: Cantidad de locales críticos en disponibilidad por Centro de Distribución (CD) en semana 37 del 2023 (Elaboración Propia)

- Figura 1: Gráfico tendencia Estadía de camiones

Tendencia Estadía CD / Mes / Semana

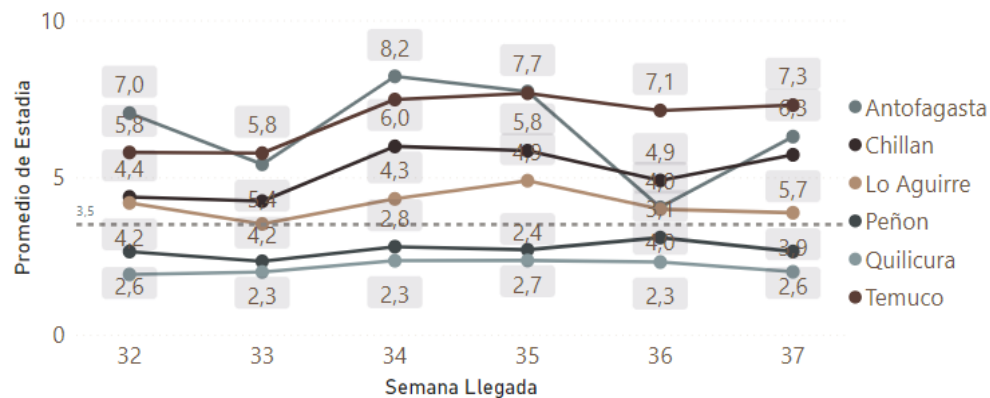


Figura 1: Gráfico Estadía de camiones entre semana 32 y 37 del 2023, medido en horas. (Walmart Chile)

- Figura 2: Gráfico tipo de estadía previo a campaña FF. PP 2023

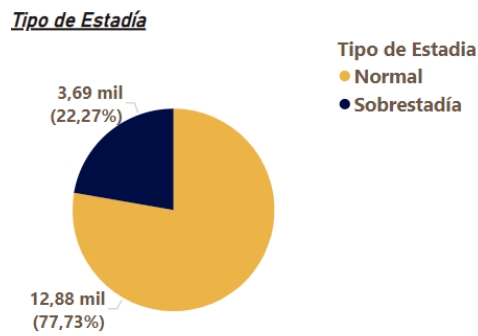


Figura 2: Tipo de estadía semanas 32, 33 y 34 del 2023 (Fuente: Walmart Chile).

- Figura 3: Gráfico tipo de estadía post campaña FF. PP 2023

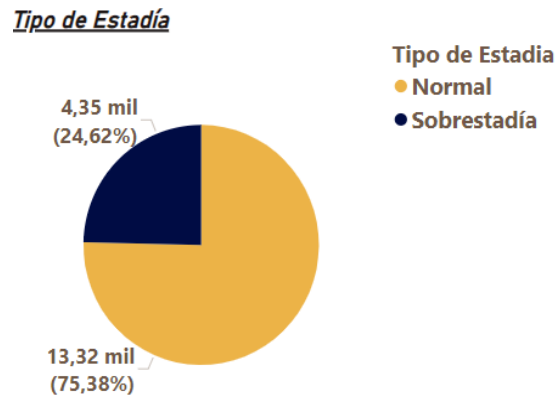


Figura 3: Gráfico tipo de Estadía semanas 35, 36 y 37 del 2023 (Fuente: Walmart Chile).

- Figura 4: Gráfico tendencia Devoluciones FF. PP 2023

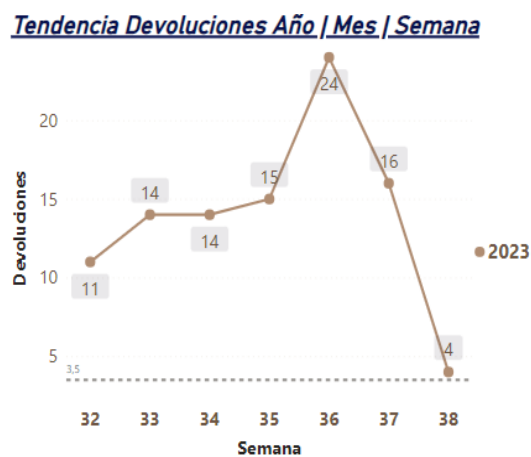


Figura 4: Gráfico Devoluciones desde semana 32 a 38 del 2023 (Fuente: Walmart Chile).

- **Modelo matemático primer caso de estudio estado del arte**

Modelo matemático del artículo “Optimización de la política de despacho de compañía farmacéutica, desde centro de distribución hacia locales de región metropolitana” Rojas Ratinoff, A. P. G. (2014).

- Conjuntos

I = locales que serán usados como salida por un camión

J = locales que serán usados como entrada por un camión

C = Set de camiones disponibles para el despacho (se definen 25 camiones inicialmente⁹⁾)

- Parámetros y escalares

$di(i)$ = Demanda por local de salida i en m³/día

$dj(j)$ = Demanda por local de entrada j en m³/día

$distancia(i,j)$ = Distancia desde local i a local j en km

nds = Nivel de servicio que se le pide al modelo (tiempo máximo en ruta)

$capc$ = capacidad de un camión (no incluye factor de estiba) en m³

cap = factor de estiba (carga máxima de un camión en términos porcentuales)

cac = costo arriendo camión por viaje en pesos chilenos

$velhr$ = velocidad promedio de camiones en km/h

$t\ parada$ = estadía promedio por local en horas (descarga y tiempo auditoria)

$cuad$ = cantidad de locales

$distmax$ = distancia máxima que se le permite recorrer a un camión en km

- Variables

$occ(c)$ = si se ocupa camión c

$ols(i,c)$ = si se ocupa local i como salida con camión c

$ole(j,c)$ = si se ocupa local j como entrada con camión c

$vc(i,j,c)$ = si se va de local i a local j con camión c

$vinic(j,c)$ = si se va desde CDD a local de entrada j con camión c

$vfinc(i,c)$ = si se va desde local de salida i a CDD con camión c

$dc(c)$ = distancia que recorre camión c si es que es usado

$tc(c)$ = tiempo que demora camión c si es que es usado

$tiempocj(c,j)$ = tiempo en que camión c llega a local de entrada j

$ordenjc(j,c)$ = orden en que se visita local de entrada j con camión c

$orden(i,c)$ = orden en que se visita local de salida i con camión c

$ocupacion(c)$ = total de m³ que despacha camión c si es que es usado

- Restricciones

- Naturaleza de las variables

$$\begin{aligned}
 & occ(c), ols(c), ole(c), vc(i, j, c), vinic(j, c), vfinc(i, c) \in \{0, 1\} \\
 & ordenjc(j, c), ordenic, ocupación(c), cantlocales(c) \in \mathbb{N}^+ \\
 & tiempocj(c, j), tiempoci(c, i), tiempo(i, j), demi(i), demj(j) \in \mathbb{R}^+
 \end{aligned}$$

- No asistir si no hay demanda

$$\begin{aligned}
 & ols(i, c) \leq di(i) \quad \forall i \in I, \forall c \in C \\
 & ole(j, c) \leq dj(j) \quad \forall j \in J, \forall c \in C
 \end{aligned}$$

- Máximo una visita por local

$$\begin{aligned}
 & \sum_{c=1}^n ols(i, c) \leq 1 \quad \forall i \in I \\
 & \sum_{c=1}^n ole(j, c) \leq 1 \quad \forall j \in J
 \end{aligned}$$

- Evitar loop local

$$vc(i, j, c) = 0 \quad \forall i = j \in \text{locales}, \forall c \in C$$

- No exceder capacidad de camión

$$\sum_{j=1}^n [ole(j, c) * dj(j)] \leq cap * capc \quad \forall c \in C$$

- Respetar ventanas horarias

$$tiempo(c, j) \leq T_{max}(j) * ole(j, c) \quad \forall j \in J, \forall c \in C$$

- Tiempo máximo en ruta

$$tc(c) \leq nds \quad \forall c \in C$$

- Distancia máxima en ruta

$$dc(c) \leq distmax \quad \forall c \in C$$

- Relación de orden de visita a locales

$$ordenic(i, c) - ordenjc(j, c) + cuad * vc(i, j, c) \leq cuad - 1 \quad \forall i \neq j \in \text{locales}, \forall c \in C$$

- Sólo se visitan locales que poseen demanda

$$\sum_{c=1}^n ole(j, c) = 1 \quad \forall j \in J \text{ si } dj(j) > 0$$

$$\sum_{c=1}^n ole(j, c) = 0 \quad \forall j \in J \text{ si } dj(j) = 0$$

- Si se ocupa camión como entrada en algún local, entonces se considera ocupado

$$occ(c) \geq \sum_{j=1}^n ole(j, c) * \frac{1}{100} \quad \forall c \in C$$

- Desde CD cada camión puede llegar máximo a un local si es que es ocupado

$$\sum_{j=1}^n vnic(j, c) = occ(c) \quad \forall c \in C$$

$$\sum_{c=1}^n vnic(j, c) \leq 1 \quad \forall j \in J$$

- Desde el último local cada camión va máximo una vez a CDD si es que es ocupado

$$\sum_{i=1}^n vfinc(i, c) = occ(c) \quad \forall c \in C$$

$$\sum_{c=1}^n vfinc(i, c) \leq 1 \quad \forall i \in I$$

- Orden de locales espejo debe ser el mismo

$$ordenjn(j, c) = ordenic(i, c) \quad \forall i = j \in \text{locales}, \forall c \in C$$

- Función Objetivo

$$\text{Min } cac * \sum_{i=1}^{25} occ(c)$$

, donde cac = costo de arriendo camion por viaje

- Modelo matemático segundo estudio del estado del arte

Modelo matemático empleado en el artículo “Propuesta de planificación de frecuencias y cantidades para el abasto de mercadería a lo largo del territorio nacional mediante el análisis de clúster de la empresa Gollo del Grupo Unicomer Costa Rica” Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. (2019).

- Número de unidades a despachar (UAD)

$$UAD = \text{Demanda esperada mensual o Capacidad} - \text{Existencias en PDV}$$

El cálculo del UAD obedece ciertas restricciones que proponen los autores, las cuales se detallan en la tabla 5.

Escenario del PDV	Capacidad PDV (unds)	Demanda (unds)	Existencia en PDV (unds)	Operación	Unds. a despachar
Existencias=0	109	56	0	Demanda-Existencia	56
Existencias = Demanda	109	56	56	Demanda-Existencia	0
Existencias ≠ Demanda < Capacidad	109	56	10	Demanda-Existencia	46
Existencias ≠ Demanda > Capacidad	109	200	10	Capacidad-Existencia	99
Demanda=0 y Existencia=0	109	0	0	No envía	0
Demanda=0 con Existencia	109	0	10	No envía	0

Tabla 5: Restricciones del modelo de programación de frecuencias y abastos (Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. 2019)

- Tasa de rotación de unidades por semana (TRUS)

$$TRUS = \frac{\text{Demanda mensual promedio del PDV por línea (unidades)}}{4}$$

Estimación frecuencia de abasto individual (FAI), la cual indica la velocidad de desabastecimiento del PDV semanal de un producto en específico.

$$FAI = \frac{UAD}{TRUS}$$

La fórmula anterior identifica la frecuencia individual, sin embargo, los autores plantean que se necesita un modelo integral que considere todas las líneas de producto, por lo que los PDV deben agruparse por distancia al Centro de Distribución (CD).

Frecuencia por grupo (FG), este cálculo se debe calcular por grupo en función de cada uno de los camiones existentes en la red de transporte.

$$FG = \frac{\text{Cubicaje de las unidades a despachar (m}^3\text{)}}{\text{Cubicaje del tipo de camión (m}^3\text{)}}$$

Costo total de transporte por tipo de camión (CTC)

$$CTC = \text{Costo de transporte unitario} \times \text{Frecuencia Grupal (FG)}$$

Finalmente, una vez identificados los costos totales de transporte se determina la frecuencia optima, la cual definen los autores como “número de visitas por semana que tenga el menor costo de transporte asociado” (Arias Rojas, G. M., & Rojas Alfaro, A. F. 2019).

- **Figura 5: Captura de pantalla del SharePoint junto a los archivos que incluyen el sistema propuesto (solución)**

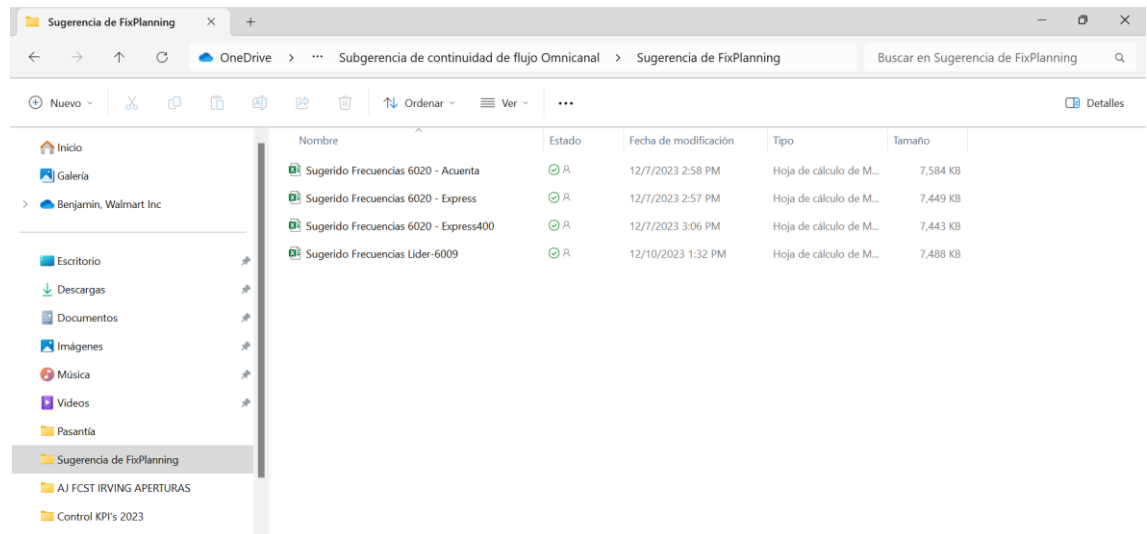


Figura 5: Captura de pantalla del SharePoint junto a los archivos que incluyen el sistema propuesto (solución)

- **Carta Gantt**

