

Optimización del proceso de carga de cajas despachadas desde el Centro de Distribución 6011 de Walmart Chile

24 de diciembre, 2023

Nombre: Trinidad Mezzano Clavelle

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

Resumen Ejecutivo

Walmart Chile, una subsidiaria de la cadena minorista Walmart Stores Inc., es una figura destacada en el sector de ventas al por menor, siendo su enfoque principal la comercialización de alimentos a través de una extensa red de más de 370 locales a lo largo de todo el país.

En el ámbito de la distribución de productos perecibles, particularmente en la categoría de frutas y verduras, se presentan desafíos operativos significativos. La falta de previsión en la planificación de la carga ha llevado a escenarios críticos en periodos de peak de ventas, cuando la demanda supera las 50.000 cajas diarias, se genera una disminución del Instock, puesto que, se excede la capacidad de la cámara de frutas y verduras, generando pérdidas económicas considerables. En las primeras 41 semanas del 2023, el Instock promedio en tienda durante estos periodos críticos se situó en un 86%, mostrando una disminución del 5% en relación con el Instock objetivo de la categoría del 91%.

El objetivo general del proyecto es aumentar el Instock promedio de frutas y verduras en días con proyección de ventas superior a 50.000 cajas, pasando del 86% al 90% en un plazo de 3 meses. Esta mejora del 4% busca mitigar las pérdidas anualizadas de \$1.811.766.610 generadas por una potencial venta perdida y \$12.275.518 producto de cajas que quedan pendientes en el Centro de Distribución.

La solución propuesta implica la implementación de un Modelo de Programación Lineal, diseñado para anticipar la carga de productos con mayor vida útil en días de alta demanda. La elección de esta solución se basa en su eficacia para distribuir la carga de manera precisa, minimizando la superación de la capacidad de la cámara y reduciendo los quiebres en sala.

Tras la implementación del modelo, se observaron resultados positivos, con un incremento del Instock mínimo del 78,5% al 86,1% y del Instock promedio del 86% al 89,8%. Logrando de esta manera, el objetivo establecido del 90%.

El impacto económico estimado es de \$420.932.799, representando una reducción del 76,9% en comparación con la situación base.

En conclusión, la implementación exitosa de este modelo matemático no solo mejoró el desempeño del Instock, sino que también generó ahorros significativos y destacó la capacidad del estudiante para abordar desafíos complejos en la gestión de operaciones y optimización.

Abstract

Walmart Chile, a subsidiary of the retail chain Walmart Stores Inc., is a prominent figure in the retail sector, with its focus on marketing food through an extensive network of over 370 stores across the country.

In the field of perishable product distribution, particularly in the fruits and vegetables category, significant operational challenges are presented. Lack of foresight in load planning has led to critical scenarios during peak sales periods, where demand exceeds 50.000 boxes daily, resulting in a decrease in Instock. This is due to exceeding the capacity of the fruits and vegetables chamber, leading to considerable economic losses. In the first 41 weeks of 2023, the average Instock in-store during these critical periods stood at 86%, showing a decrease of 4% compared to the target Instock of 91%.

The overall goal of the project is to increase the average Instock of fruits and vegetables on days with projected sales exceeding 50.000 boxes, moving from 86% to 90% within a period of 3 months. This 4% improvement aims to mitigate annualized losses of \$1.811.766.610 generated by potential lost sales and \$12.275.518 from boxes left pending at the Distribution Center.

The proposed solution involves the implementation of a Linear Programming Model designed to anticipate the loading of products with a longer shelf life on days of high demand. The choice of this solution is based on its effectiveness in distributing the load accurately, minimizing chamber capacity exceedance, and reducing breaks on the sales floor.

After the model's implementation, positive results were observed, with an increase in the minimum Instock from 78,5% to 86,1% and an increase in the average Instock from 86% to 89,8%. Thus, achieving the target of 90%.

The estimated economic impact is \$420.932.799, representing a 76,9% reduction compared to the baseline situation.

In conclusion, the successful implementation of this mathematical model not only improved Instock performance but also generated significant savings and highlighted the student's ability to address complex challenges in operations management and optimization.

Índice

1.	Contexto	6
1.1.	Contexto de la empresa	6
1.2.	Contexto del problema	7
2.	Problema	10
2.1.	Definición del problema	10
2.2.	Impacto económico	11
2.3.	Proceso	12
3.	Objetivos y medidas de desempeño	13
3.1.	Objetivo general	13
3.2.	Objetivos específicos	14
3.3.	Medidas de desempeño	14
4.	Análisis de causas	15
5.	Estado del arte	16
6.	Solución	19
6.1.	Soluciones factibles	19
6.2.	Criterios de selección	20
7.	Metodología	21
7.1.	Plan de acción	21
7.2.	Modelo de programación lineal	22
7.3.	Evaluación económica	24
7.4.	Nuevo proceso	25
7.5.	Riesgos de implementación	26
8.	Desarrollo e implementación	27
8.1.	Carta Gantt	27
8.2.	Plan de implementación	27
8.2.1.	Formulación del modelo matemático	27
8.2.2.	Construcción del modelo	28

8.2.3. Prueba del modelo	29
8.2.4. Establecimiento de controles e implantación de la solución	29
9. Resultados	30
9.1. Impacto métrica primaria	30
9.2. Impacto económico	33
9.3. Impacto en los colaboradores	33
9.4. Impacto medio ambiental	34
9.5. Impacto ético	34
10. Conclusión	34
11. Referencias	36
12. Anexos	37
12.1. Anexo A: Prueba normalidad estadística	37
12.2. Anexo B: Proceso	37
12.3. Anexo C: Simbología flujo de proceso	38
12.4. Anexo D: Ingresos, costos e inversión flujo de caja	38
12.5. Anexo E: Matriz de riesgo	39
12.6. Anexo F: Matriz de adelanto máximo	39
12.7. Anexo G: Matriz prioridad adelanto	40
12.8. Anexo H: Modelo de optimización AMPL	40
12.9. Anexo I: Flujo Dataiku	41
12.10. Anexo J: Resultados solución	41
12.11. Anexo K: Prueba estadística T-Test	42

1. Contexto

1.1. Contexto de la empresa¹

Walmart Chile es una subsidiaria de Walmart Stores Inc., la cadena minorista más grande a nivel mundial, la cual tiene origen en Estados Unidos. En Chile, Walmart se destaca como una influyente compañía en el sector de ventas al por menor, siendo su enfoque principal la comercialización de alimentos a través de una extensa red de más de 370 locales y más de 46.500 colaboradores que se distribuyen a lo largo del país. Estos locales se dividen en varios formatos para atender las necesidades de diversos segmentos de clientes, dentro de los cuales se encuentran, Lider, Express de Lider, SuperBodega aCuenta, Central Mayorista y las plataformas de comercio electrónico como Lider.cl, Centralmayorista.cl y Acuenta.cl.

Además, cada formato se divide en tres segmentos: Alimentos Perecibles (PPS), Comercialización General (GM) y Alimentos Consumibles y Productos para Mascotas (ACP). Cada segmento cuenta con un porcentaje distinto de participación en las ventas, como se muestra a continuación.

Participación en ventas por Segmento

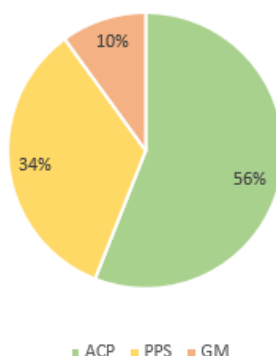


Gráfico 1: Porcentaje de participación en ventas por Segmento. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

¹ *Nosotros*. (2021, junio 13). WalmartChile – Walmart Chile es uno de los principales actores en la industria de las ventas al por menor del país (retail); WalmartChile.

La distinción de Walmart Chile radica en su misión esencial, que es ahorrar dinero a sus clientes para mejorar su calidad de vida. Este compromiso se materializa en su dedicación a proporcionar productos a precios competitivos y accesibles.

Dentro del ámbito de la pasantía en Walmart Chile, la participación del estudiante se concentra en la gerencia de Omnichannel Supply Chain, específicamente en el segmento de Alimentos Perecibles (PPS). Esta área es un componente esencial para garantizar la disponibilidad de los alimentos en las distintas sucursales del país. Por un lado, el equipo de demanda se encarga de prever cuántos productos serán necesarios en las tiendas, y paralelamente, el equipo de reabastecimiento asegura que estos productos estén disponibles de manera eficaz.

El área de PPS está compuesta por una estructura organizacional de 21 colaboradores, que incluye 1 gerente, 3 subgerentes y 17 analistas.

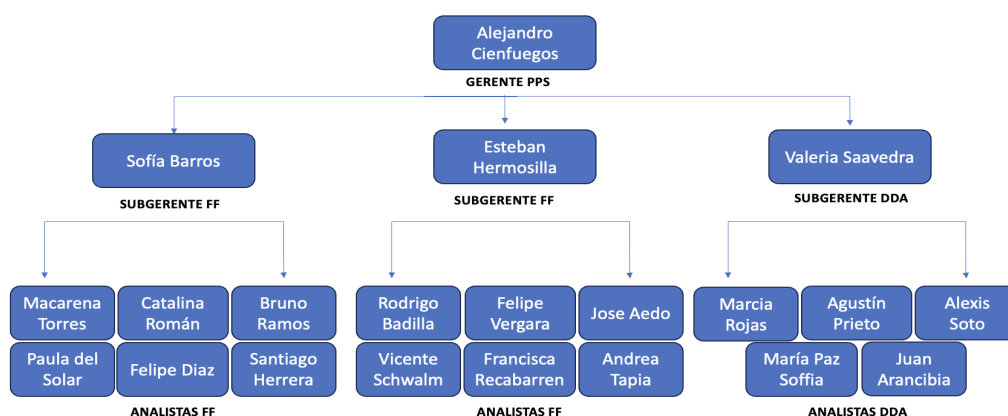


Diagrama 1: Estructura organizacional PPS. (Elaboración propia)

1.2. Contexto del problema

El alcance de este proyecto se concentra, en primer lugar, en el centro de distribución 6011, puesto que es especializado en productos perecibles. Este CD desempeña un rol esencial en la distribución de alimentos de categorías como frutas y verduras, fiambrería y lácteos, proteínas, congelados y productos de panadería y pastelería.

Además, se centrará específicamente en la categoría de frutas y verduras, ya que, debido a su naturaleza altamente perecible, tiene un impacto significativo en la operación. Para

comprender este impacto, tenemos que se le asigna el 26% de la capacidad total de despacho del centro de distribución hacia las sucursales, como se ilustra en el Gráfico 2.

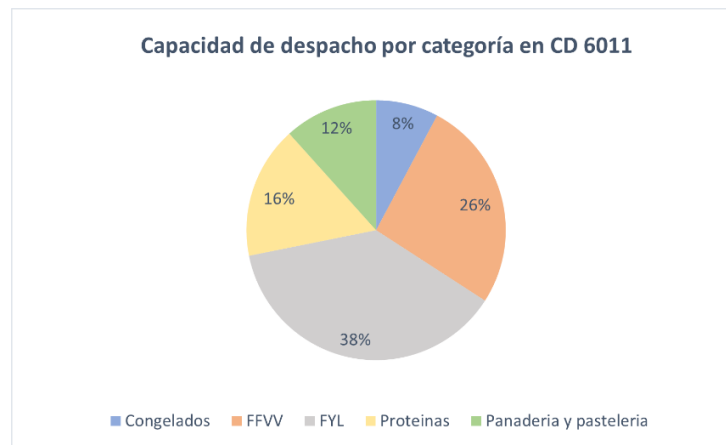


Gráfico 2: Capacidad de despacho por categoría en CD 6011. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

Cabe destacar que esta categoría cuenta con un 85% de sus productos centralizados y un 15% con proveedores directos.

Es crucial reconocer que la categoría de frutas y verduras tiene un impacto significativo en la productividad de la operación. Preparar 1 caja de frutas y verduras requiere aproximadamente el mismo tiempo que preparar 2 cajas de otras categorías. Esto implica que, se procesan menos cajas por hora en comparación con otras categorías. Reflejándose claramente en el gráfico adjunto.



Gráfico 3: Cajas preparadas para despacho en promedio por hora por operador según categoría. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

Este análisis determina la importancia de abordar los desafíos relacionados con la categoría de frutas y verduras en el centro de distribución 6011.

El principal desafío que enfrenta Walmart está relacionado con la disminución del Instock. Esta métrica es una variable binaria que arroja 0 si el stock en sala no es capaz de satisfacer un día de la demanda esperada y 1 en el caso contrario. El problema se manifiesta de manera crítica cuando la cantidad de cajas a despachar de frutas y verduras, es decir la proyección de la demanda, supera la capacidad de su cámara, que tiene un límite fijo de 50.000 cajas al día. Cuando esto ocurre, es necesario dejar pendientes cajas para ser procesadas al día siguiente, lo que resulta en una disminución del Instock. Este problema se origina debido a la falta de una planificación anticipada de la demanda diaria, lo que resulta en una sobrecarga del sistema y, en última instancia, en quiebres de stock y una potencial venta perdida. Además, se contribuye a la congestión en la cámara de frutas y verduras, la cual está restringida no por la cantidad de ubicaciones ocupadas, sino por limitaciones en el movimiento de personal y grúas dentro de la misma. Cuando se superan las 50,000 cajas diarias, se genera congestión, con grúas y personal entorpeciendo la operación.

Este proyecto se centrará en analizar cómo impacta en el Instock, el hecho de que la cantidad de cajas necesarias a despachar de frutas y verduras supere la capacidad de su cámara, para esto, se estudiarán todas las tiendas a lo largo del país. A continuación, se presenta un gráfico que muestra la demanda en cajas de FFVV junto con la capacidad de su cámara.

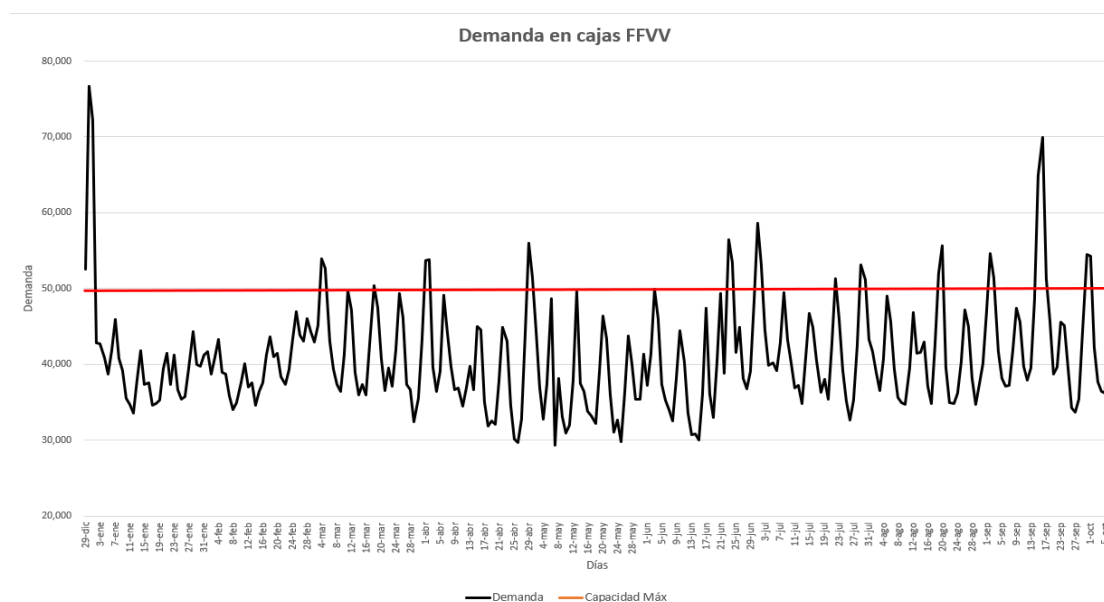


Gráfico 4: Demanda en cajas de FFVV con respecto a la capacidad de su cámara. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

Durante las 41 semanas estudiadas han existido 23 días en los que la demanda ha superado las 50.000 cajas. En promedio, en los días en los que se supera la capacidad, esta discrepancia se traduce en un aumento del 12,8%, equivalente a 6.440 cajas extras. Esta necesidad de sobrecarga resalta la importancia de abordar el problema que estamos estudiando y su impacto en la operación de la empresa.

El propósito de abordar este problema es la optimización del proceso de carga de las cajas despachadas desde nuestro Centro de Distribución número 6011 hacia nuestras múltiples sucursales, enfocado en resolver la disminución del Instock.

2. Problema

2.1. Definición del problema

Durante las 41 semanas estudiadas del año en curso (enero a octubre 2023), en los días donde la demanda fue superior a 50.000 cajas diarias de frutas y verduras, en promedio el Instock fue de un 86%, disminuyendo un 5% del Instock objetivo de la categoría. Esto ha generado un impacto negativo de \$1.811.766.610 anualizados equivalentes a ventas perdidas y de \$12.275.518 anualizados equivalentes a cajas pendientes en el CD.

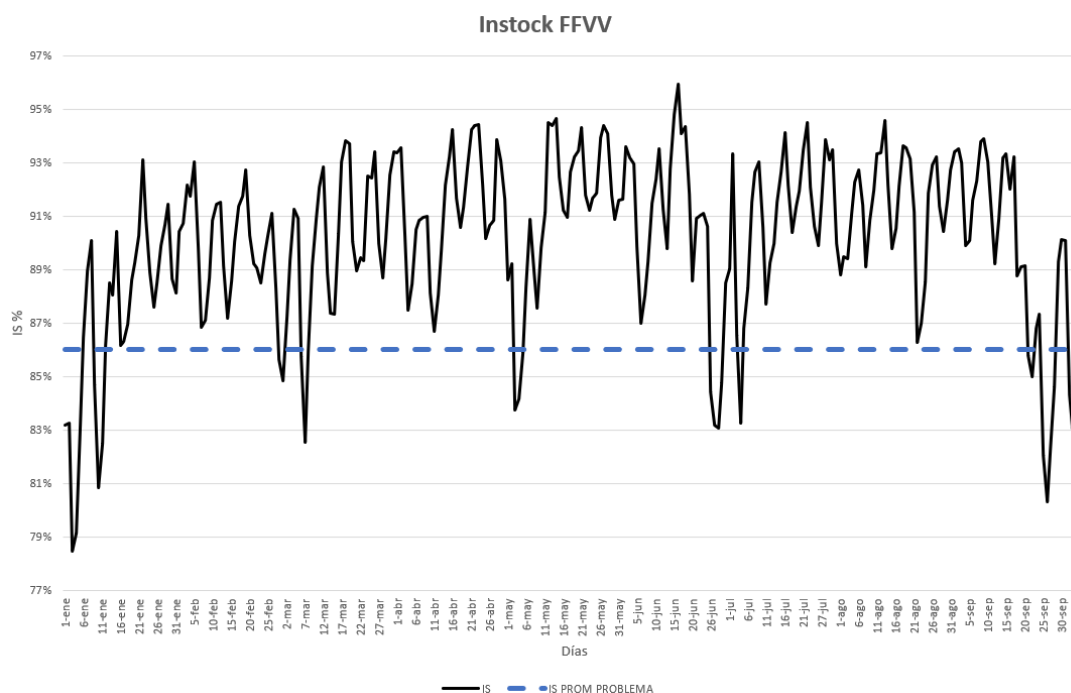


Gráfico 5: Instock de la categoría de FFVV. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

Durante los 274 días en estudio, se dejaron un total de 130.103 cajas pendientes para ser procesadas al día siguiente. Además, esta situación genera un potencial de venta perdida que se traduce en 96.922 cajas en los días investigados.

Con el propósito de validar el uso del promedio en el análisis de datos, se llevó a cabo un análisis de normalidad, donde se obtuvo que el valor de p es de 0,1306. Dado que p es mayor que el umbral de significancia comúnmente establecido en 0,05, no hay suficiente evidencia para afirmar que los datos no provienen de una distribución normal.²

2.2. Impacto económico

En cuanto al impacto económico generado por este problema, se puede dividir en 2. Por un lado, está el costo asociado a mantener una caja pendiente en el centro de distribución, es decir el valor de la posición, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$Valor\ posición = \frac{Tarifa\left(\frac{uf}{m^2\text{ mes}}\right)}{Ocupación\left(\frac{Posiciones}{m^2}\right)} \quad (1)$$

Donde :

Tarifa: Valor económico en uf del m² al mes

Ocupación: Factor de ocupación del CD de Walmart

Por lo que mantener aproximadamente las 130.103 cajas que han quedado pendientes durante los días del año en donde hemos sufrido este problema es de \$6.969.804. Esto equivale a un costo anual de \$12.275.518 aproximadamente.

Por otro lado, tenemos el costo de un potencial de venta que se está perdiendo debido a la no disponibilidad de productos, el cual es calculado de la siguiente forma:

$$Venta\ perdida = Valor\ caja * (\%IS\ real - \%IS\ objetivo) * Venta \quad (2)$$

² Detalle en 12.1 Anexo A

Donde :

Valor caja: Valor económico promedio en \$ de una caja de frutas y verduras

Venta: Cantidad de cajas de frutas y verduras vendidas en un día

Instock: Métrica que mide la disponibilidad en sala

Por lo tanto, la venta perdida que se ha tenido durante lo que lleva del año es de aproximadamente \$1.259.979.943, lo que equivale a \$1.811.766.610 al año.

En conclusión, el impacto total del problema es aproximadamente \$1.824.042.128 anualmente.

2.3. Proceso

Para entender mejor este problema, es crucial que se comprenda el proceso de planificación de carga de las cajas que van a ser despachadas desde el Centro de Distribución número 6011 hacia las diversas sucursales. Este proceso de entrega se ejecuta de manera continua a lo largo de la semana, con excepción de los domingos.

Un aspecto clave a destacar es cómo se planifica el abastecimiento de las tiendas. Para llevar a cabo una gestión eficiente del flujo de cajas desde el CD a las sucursales, se considera una métrica denominada "Forecast". Métrica que corresponde a la demanda futura de distintos productos. Este proceso involucra distintos pasos clave. Inicialmente, el área de planificación realiza un pronóstico anual de las ventas esperadas. A medida que avanzan las semanas, el área de demanda ajusta y proyecta la demanda para las semanas posteriores. Con esta proyección de la demanda, el Global Replenishment System (GRS) utiliza esta información para calcular la cantidad necesaria de cajas que deben cargarse para cada producto en cada local. El área de reabastecimiento efectúa ajustes adicionales en la carga semanal, para asegurar que se ajuste a la capacidad del CD. Una vez finalizados estos pasos, la información se envía al Centro de distribución para iniciar la preparación de las cajas que serán despachadas a las tiendas³.

A continuación, se ofrece un diagrama de flujo que brinda una explicación de este proceso⁴.

³ Detalle en 12.2 Anexo B.

⁴ Detalle en 12.3 Anexo C.

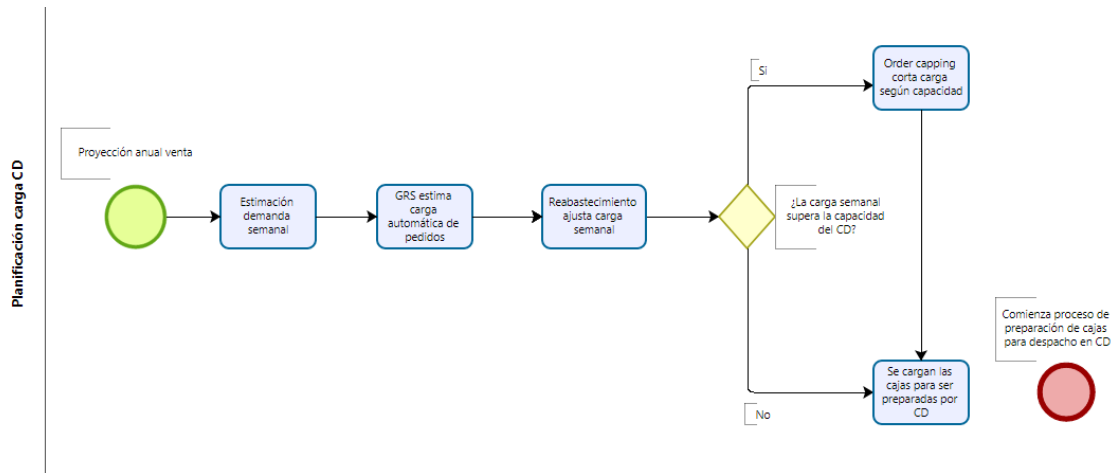


Diagrama 2: Flujo de proceso de planificación de carga de cajas al CD. (Elaboración propia)

3. Objetivos y medidas de desempeño

3.1. Objetivo general

Aumentar el Instock promedio de la categoría de frutas y verduras cuando su proyección de ventas es superior a las 50.000 cajas, de 86% a 90% en un plazo de 3 meses.

A continuación, se presenta el gráfico que ilustra la diferencia entre el instock promedio cuando se excede la capacidad y el instock objetivo.

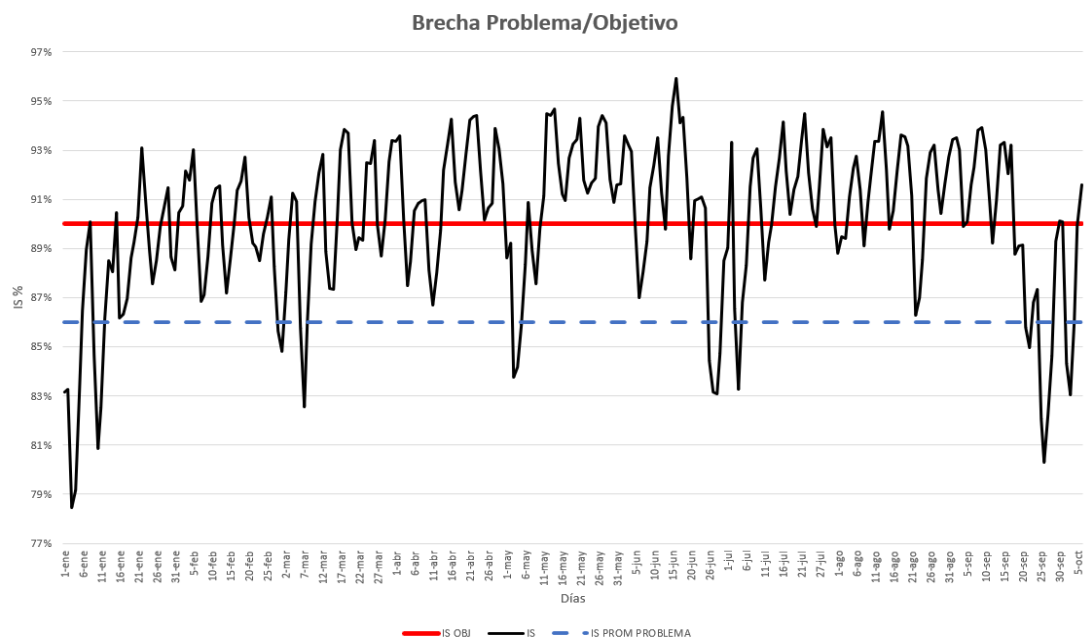


Gráfico 6: IS de FFVV, junto con el IS promedio cuando existe sobrecarga y el IS objetivo del proyecto.

(Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

3.2. Objetivos específicos

1. Disminuir los días sobre la capacidad de la cámara de FFVV.
2. Disminuir el porcentaje de desviación de cajas a preparar en un día.
3. Desarrollar e implementar una solución que aumente el IS de FFVV.
4. Validar la efectividad de la solución con un análisis comparativo del antes y después.
5. Cuantificar la mejora económica asociada a la implementación de la solución.

3.3. Medidas de desempeño

1. Instock

$$\text{Instock \%} = \frac{\sum \text{Combinaciones sin quiebres}}{\text{Total de combinaciones}} \quad (3)$$

Donde:

Combinaciones sin quiebres: Todas las combinaciones de productos - locales, en donde existe stock disponible para satisfacer un día de venta.

2. Cantidad porcentual de días sobre capacidad

$$\% \text{ Días sobre capacidad} = \frac{\text{Días sobre 50.000}}{\text{Total de días}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

Días sobre 50.000: Cantidad de días sobre la capacidad de la cámara de FFVV.

3. Porcentaje de desviación de cajas preparadas

$$\text{Desviación cajas} = \frac{\text{Cajas Pendientes}}{\text{Cajas Totales}} * 100 \quad (5)$$

Donde:

Cajas Pendientes: Cantidad de cajas de FFVV que no pueden ser preparadas en un día debido a que superan la capacidad de la cámara.

4. Análisis de causas

En el proceso de análisis para entender las causas detrás del problema, se identificaron cuatro causas fundamentales que contribuyen a la disminución del Instock, los cuales se detallan a continuación.

- i. Debilidad en la planificación de reabastecimiento debido a la falta de un análisis adecuado de la vida útil de los productos de frutas y verduras.
- ii. Capacidad limitada de la cámara de frutas y verduras.
- iii. Baja productividad en la categoría de frutas y verduras.
- iv. Retraso en la entrega de productos por parte de los proveedores.

A continuación, se presenta el diagrama de los “5 por qué” para ayudar a entender mejor las causas mencionadas anteriormente.

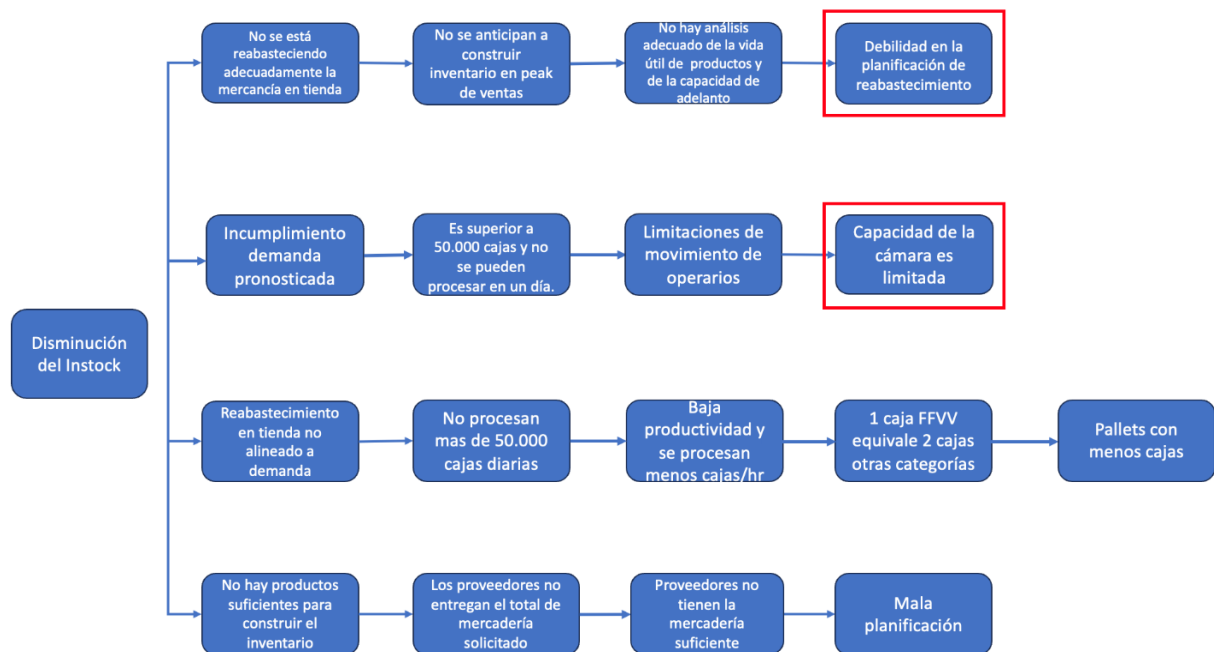


Diagrama 3: Diagrama de los 5 por qué con respecto a las causales. (Elaboración propia)

Las causas que se abordarán para solucionar el problema son la debilidad en la planificación de reabastecimiento y la capacidad limitada de la cámara de frutas y verduras. Se realizó un análisis cuantitativo de datos recopilados durante lo que lleva del año, en donde del total de días donde se generaba una caída del IS, se identificó que el 67% de las ocasiones fue producto de estas dos causas.

En primer lugar, se identificó que cuando la demanda superaba las 50.000 cajas diarias, la disminución del Instock se manifestaba uno o dos días después del peak de ventas, extendiéndose a veces hasta una semana. Además, se observó que en un 92% de los días con ventas superiores a 50.000 cajas, se producía una disminución significativa del instock en los días subsiguientes, en comparación con solo un 20% de los días con ventas por debajo de 50.000 cajas.

A continuación, se presenta un gráfico comparativo de la demanda VS el Instock de FFVV, donde se evidencia que cada vez que existe un peak de ventas, el Instock de la categoría disminuye.

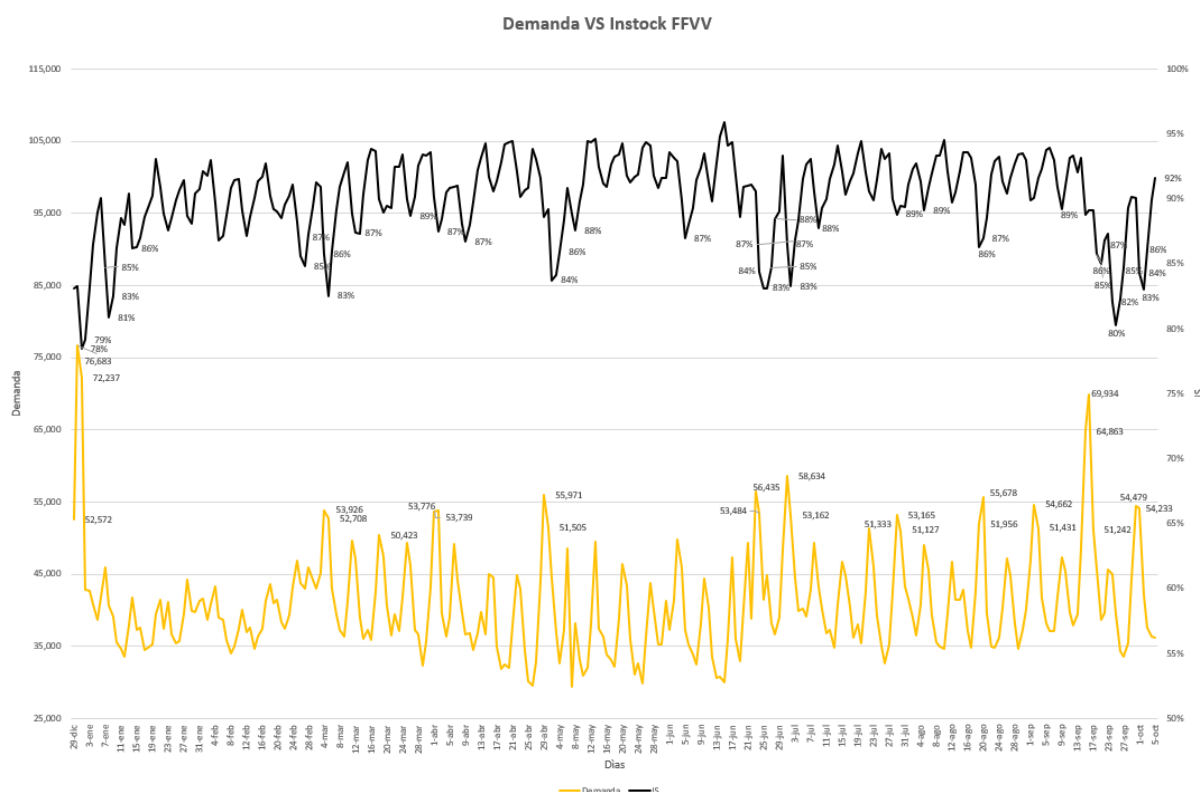


Gráfico 7: Demanda VS Instock FFVV. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de 41 semanas)

De esta forma, se respalda la necesidad de abordar estas causas. Su resolución podría tener un impacto significativo, permitiendo que el instock se mantenga dentro del 90%, logrando el objetivo final.

5. Estado del arte

Distintas empresas han enfrentado desafíos relacionados con limitaciones de capacidad y planificación de carga, y han buscado soluciones innovadoras para abordar estos problemas. Esta revisión de la

literatura se ha realizado con el propósito de comprender cómo diversas organizaciones están resolviendo eficazmente estos desafíos y, al mismo tiempo, identificar las soluciones que mejor se adapten a las necesidades y condiciones específicas de la empresa.

En primer lugar, se destaca la solución de automatización de procesos en centros de distribución, la cual implica la implementación de tecnologías avanzadas y sistemas para optimizar y agilizar las operaciones logísticas y de gestión en almacenes y depósitos, con el propósito de aumentar la capacidad operativa de las bodegas.

En cuanto a la investigación de la literatura, se analizó el texto “Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach”, el cual presenta un estudio que se basa en una muestra de 40 almacenes en Italia, que exploran la adopción de sistemas automatizados y aplicaciones de tecnologías de información en la preparación de pedidos. Los resultados indican un creciente interés en la implementación de soluciones automatizadas para agilizar procesos. Por otro lado, se menciona que la adopción de sistemas automatizados se ve impulsada por la eficiencia y la efectividad en el proceso de preparación de pedidos (*Gino Marchet, Marco Melacini, Sara Perotti, 2014, cap 5*)⁵

Existen distintos casos de éxito al implementar esta solución como Falabella Retail. En respuesta a la capacidad insuficiente en su centro de distribución, Falabella implementó mejoras significativas, incluyendo la incorporación de 132 robots "Shuttle". Esto resultó en un aumento impresionante del 50% en la capacidad, mejorando la eficiencia del procesamiento de pedidos y satisfaciendo las necesidades de los clientes (Falabella, 2022)⁶. Por otro lado, Sinteplast se encontró con un desafío debido a la alta saturación de sus almacenes, con una ocupación del 95%, lo que limitó la capacidad de almacenamiento y la preparación de pedidos. La solución vino en forma de automatización intralogística, con la implementación de un almacén automático con 10 pasillos y 5 transelevadores para pallets. Esta solución permitió duplicar la capacidad diaria de preparación de pedidos, pasando de 250.000 a 500.000 litros diarios y, además, generó una drástica reducción de los ajustes de inventario y errores en la selección de productos (*ULMA, 2021*)⁷.

⁵ “Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach”, Gino Marchet, Marco Melacini, Sara Perotti, 2014.

⁶ Falabella (2023) Falabella Retail Incrementó en 50% La Capacidad de Su Centro de Distribución Más Moderno y sostenible de la región, Somos Falabella.

⁷ ULMA (2021) La Empresa Argentina Sinteplast Duplica Su Capacidad de Preparación de pedidos Gracias a la Automatización Intralogística, Almacén inteligente en Sinteplast | ULMA Handling Systems.

En segundo lugar, se destaca la solución de incorporar un sistema de administración de almacenes (WMS), el cual es una herramienta de software diseñada para gestionar y optimizar las operaciones y procesos dentro de un almacén o centro de distribución. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, la precisión y la visibilidad de las operaciones de almacenamiento y distribución.

La investigación literaria se centró en el texto "Smart Warehouse Management System Concept with Implementation", que enfatiza la importancia de implementar sistemas de gestión de almacenes para optimizar las operaciones de almacenamiento y distribución. Se destaca el uso de algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la planificación de inventario, la ubicación de productos, el proceso de transferencia y el seguimiento de pedidos y transporte. (*Emir Zunic, Sead Delalic, Kerim Hodzic, Admir Besirevic, Harum Hindija, 2018, cap V*)⁸.

Algunos casos de éxito al aplicar esta solución son empresas como, El Palacio de Hierro, una cadena de tiendas de lujo en México, quienes, experimentaron éxito al abordar problemas operativos mediante la implementación de un WMS. La implementación generó un aumento del 30% en la productividad laboral, un ahorro anual de 580.000 USD, una precisión del inventario del 99.96%, una disminución del 67% del tiempo invertido en la planificación del surtido y mejoras significativas en el tiempo de entrega y servicio al cliente (Inbound Logistic Latam, 2016)⁹. Por otro lado, en un contexto nacional, Industrias Ceresita S.A, abordó desafíos logísticos implementando un WMS. La solución mejoró la eficiencia en los centros de distribución, redujo costos, disminuyó errores de despacho y proporcionó mayor control operativo, trazabilidad y visibilidad a través de indicadores y reportes (TLW®, 2010)¹⁰.

Por último, dentro de la industria se ha visto como solución el desarrollo de un Modelo de Optimización. En cuanto a la investigación de la literatura, se analizó el texto "Análisis de la producción y operaciones", donde se establece que los modelos de optimización son una herramienta comúnmente utilizada en la gestión de inventarios y pueden ser relevantes para abordar aspectos

⁸ "Smart Warehouse Management System Concept with Implementation", *Emir Zunic, Sead Delalic, Kerim Hodzic, Admir Besirevic, Harum Hindija, 2018*.

⁹ *Inbound Logistics Latam (2016) Caso de éxito: El Palacio de Hierro, Inbound Logistics Latam expertos de Logística en México y Latinoamérica*.

¹⁰ TLW® (2010) *Caso de éxito En La Gestión de Almacenes, THE LOGISTICS WORLD | Conéctate e inspírate*.

relacionados con el reabastecimiento de productos, la planificación de pedidos y la optimización de niveles de inventario en sistemas con demanda incierta. (Steven Nahmias, 2007, cap 5)¹¹.

Se han investigado dos empresas que aplicaron modelos de optimización para abordar exitosamente sus desafíos. En primer lugar, Nestlé USA se centró en resolver problemas relacionados con la planificación de producción y la preparación de cargas, utilizando modelos respaldados por tecnologías como Machine Learning y estadísticas. Estos modelos optimizaron la composición de cargas, calculando las combinaciones ideales que maximizaran el equilibrio de las cargas y redistribuyeron inventarios entre centros de distribución, generando ahorros significativos en costos de transporte, producción y una mejora sustancial en la satisfacción del cliente. (Rubin Napolitano, L, 2020)¹². Por otro lado, The Kellogg Company abordó desafíos en la planificación de producción y distribución de cereales y alimentos mediante la implementación de un método de programación lineal mixta (KPS) para guiar las decisiones de producción y distribución. Este enfoque resultó en reducciones considerables de costos de producción, inventario y distribución en aproximadamente \$4.5 millones. Además, permitió consolidar la capacidad de producción, con un ahorro proyectado de \$35 a \$40 millones anuales (Brown, G, 2001)¹³.

6. Solución

6.1. Soluciones factibles

Ante el desafío de la limitación de capacidad en el centro de distribución, se propone la adopción de un WMS. Para una implementación exitosa, es crucial configurar adecuadamente el software. Además, se necesita un análisis detallado de los sistemas de gestión y planificación existentes, asegurando una comunicación fluida e integración eficiente de datos. Previo a la implementación, se deben llevar a cabo pruebas exhaustivas del WMS para garantizar su correcto funcionamiento. Este enfoque busca abordar directamente las causas del problema, mejorando la eficiencia en las operaciones, lo que resultará en una optimización general del centro de distribución y una mayor capacidad para gestionar las cambiantes demandas de los clientes.

¹¹ "Análisis de la producción y las operaciones", Steven Nahmias, 2007.

¹² Rubin Napolitano, L. (2020) Nestlé U.S.A. Aplica Modelos de Optimización Utilizando Tecnología Para Ahorrar en Costos de Transporte y producción, LinkedIn.

¹³ "The Kellogg Company Optimizes Production, Inventory, and Distribution", Gerald Brown, 2001.

Otra alternativa de solución consiste en desarrollar un modelo de programación lineal para optimizar la distribución de la carga de frutas y verduras a lo largo de la semana, abordando así el desafío de garantizar el Instock objetivo. Para implementar este modelo, se debe seguir un proceso estructurado. Inicialmente, se definen objetivos centrados en lograr una distribución óptima sin exceder la capacidad de la cámara de frutas y verduras. Luego, se recopilan diversos parámetros cruciales. La formulación del modelo implica la definición de variables de decisión, además de la consideración de restricciones como la capacidad de la cámara y la vida útil. La implementación se llevaría a cabo mediante software de programación matemática, que tiene en cuenta las variables, restricciones y objetivos para encontrar la solución eficiente. Una vez resuelto el modelo, se analizan los resultados para asegurar que la distribución cumpla con el objetivo de aumentar el Instock sin comprometer la eficiencia del centro de distribución.

Por último, se propone implementar un proceso de automatización mediante transelevadores automáticos, ya que ofrecen mejoras significativas en la eficiencia operativa y la optimización del espacio de la cámara. En este enfoque, se reconocerían las órdenes de despacho a través de un WMS, guiando automáticamente el transelevador a las ubicaciones de productos requeridos. Una vez allí, el transelevador recoge los productos y los transporta automáticamente a la estación de despacho, donde se etiquetan y documentan según las necesidades de envío. Este proceso, con seguimiento constante del estado y la ubicación de los productos, contribuiría a una gestión eficiente del almacén y aseguraría la precisión en la preparación de pedidos. Esta solución aborda directamente la causa subyacente de la limitación de capacidad, optimizando el funcionamiento del centro de distribución.

6.2. Criterios de selección

Con el objetivo de tomar una decisión informada entre las soluciones propuestas, se desarrolló una matriz de selección que se fundamenta en criterios clave. Cada criterio recibe un peso específico, y se realiza una evaluación utilizando la escala de Likert, asignando valores del 1 al 5 para cada propuesta de solución, con respecto a cada criterio. En esta escala, 1 representa el rendimiento más bajo, mientras que 5 indica el rendimiento más alto.

Criterio/Solución	Implementación de WMS	Modelo de Programación Lineal	Implementación de Transelevadores
Impacto en la capacidad (15%)	3	4	4
Eficiencia operativa (15%)	4	4	3
Precisión en la distribución diaria de la carga de pedidos (15%)	1	5	1
Adaptabilidad a futuros cambios (10%)	4	4	3
Facilidad de integración (10%)	4	5	3
Aumento de IS (15%)	3	4	4
Complejidad computacional / Rechazo al cambio (5%)	3	4	3
Costo de implementación y mantenimiento (15%)	3	4	2
Ponderación total	3,05	4,25	2,85

Tabla 1: Matriz de selección para solución. (Elaboración propia)

Luego de analizar la matriz podemos concluir que, si bien cada solución presenta ventajas específicas, el Modelo de Programación Lineal se destaca como la opción más adecuada para abordar los desafíos que presenta Walmart. Esta elección se basa en su capacidad para garantizar una distribución precisa de la carga diaria, minimizando el riesgo de exceder la capacidad de la cámara y, aumentando de esta manera, el Instock. Aunque las otras soluciones también abordan estas causas y generan un impacto positivo en el IS, el Modelo de Programación Lineal destaca por su facilidad de uso y bajo costo de implementación, lo que lo convierte en la opción más eficaz dadas las necesidades y restricciones de la empresa.

7. Metodología

7.1. Plan de acción

Para lograr una implementación efectiva de la solución seleccionada, se optó por la metodología de Investigación de Operaciones. Esta elección se respalda en su eficacia en la resolución de problemas logísticos y operativos mediante el uso de herramientas matemáticas y técnicas de optimización. A continuación, se definen los pasos a seguir.

Paso 1: Formulación de un Modelo Matemático

- Identificar los parámetros y las variables de decisión.
- Establecer una función objetivo.
- Definir restricciones.

Paso 2: Construcción del modelo

- Traducción del modelo a términos matemáticos.
- Selección del software de implementación.

Paso 3: Prueba del Modelo

- Validar el modelo mediante pruebas y comparaciones.

Paso 4: Establecimiento de Controles e Implantación de la Solución

- Implementar la solución en la operación logística real.
- Establecer un sistema de seguimiento y monitoreo constante.

7.2. Modelo de programación lineal

Siguiendo la metodología propuesta, se ha llevado a cabo la formulación de un modelo definido como "Configuración de adelanto óptimo para los días de peak de ventas". Este modelo se fundamenta en técnicas de optimización y se centra en anticipar la carga de productos con mayor vida útil para satisfacer la demanda en los días de peak de ventas. A continuación, se presentan los componentes clave del modelo de optimización.

Conjuntos:

- I : Conjunto de ítems de frutas y verduras que identifican a cada producto, $i \in \{1, \dots, |I|\}$
- J : Conjunto de locales de Walmart, $j \in \{1, \dots, |J|\}$
- T : Conjunto de días del año, $t \in \{1, \dots, |T|\}$

Parámetros:

- DEM_{ijt} : Demanda en cajas a vender del ítem i , en el local j , en el día t .
- MAX_AD_{ij} : Días de adelanto máximo para el ítem i en el local j .
- PR_i : Prioridad de adelanto que tiene el ítem i .

- CAP_t : Capacidad del centro de distribución en el día t .

Variables de decisión:

- A_{ijt} : Adelanto en cajas del ítem i al local j , en el día t .
- $Y_{ijt} : \begin{cases} 1 & \text{si el ítem } i \text{ se adelanta al local } j \text{ en el día } t \\ 0 & \text{eoc} \end{cases}$

Función Objetivo:

Está diseñada para determinar la cantidad de cajas que deben adelantarse de cada producto, priorizando aquellos con una vida útil más larga como los primeros en ser adelantados.

$$\text{MIN}_{A,Y} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T PR_i * A_{ijt}$$

Restricciones:

- De capacidad: asegura que la suma de la demanda de un día sea menor o igual a la capacidad del CD, más el adelanto. Indica cuántas cajas de productos se deben adelantar en términos de cantidad.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J DEM_{ijt} \leq CAP_t + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J A_{ijt} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T$$

- Adelanto máximo por vida útil: limita el adelanto del ítem i en el local j en el día t .

$$A_{ijt} \leq MAX_{AD_{ij}} * DEM_{ijt} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T$$

- Activación variable binaria: activa la variable binaria Y_{ijt} sólo cuando es necesario adelantar. Se utiliza un valor grande (M).

$$A_{ijt} \leq Y_{ijt} * M \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T$$

- Naturaleza de las variables:

$$\begin{aligned} A_{ijt} &\in Z_0^+ & \forall i \in I, j \in J, t \in T \\ Y_{ijt} &\in \{0,1\} & \forall i \in I, j \in J, t \in T \end{aligned}$$

Este problema se debe resolver comenzando por la introducción de los parámetros correspondientes a las fechas en las que se proyecta un peak de ventas. Con estos parámetros, el modelo se encargará de determinar qué productos deben ser adelantados, en qué cantidad y a qué local. Esto permitirá distribuir de manera eficaz la carga de las semanas con alta demanda, optimizando la operación del centro de distribución y evitando sobrepasar su capacidad máxima.

7.3. Evaluación económica

El proceso de análisis financiero considera el flujo de caja proyectado para los próximos cuatro meses. Este refleja los ingresos que se generarán al aumentar el Instock, como también los beneficios derivados de la reducción de costos asociados a la ubicación de cajas pendientes. Por otro lado, los costos asociados al proyecto consideran el salario de un ingeniero y la licencia de Microsoft. Finalmente, como inversión inicial se reflejará únicamente el costo de un computador, con una depreciación de 5 años¹⁴.

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4
Ingresos		\$ 124,138,126	\$ 144,066,922	\$ 287,670,530	\$ 123,025,077
Costos		\$ -1,316,600	\$ -1,316,600	\$ -1,316,600	
Depreciación		\$ -8,000	\$ -8,000	\$ -8,000	
GoP del ejercicio anterior					
Utilidad antes de impuestos		\$ 122,813,526	\$ 142,742,323	\$ 286,345,930	\$ 123,025,077
Impuesto 27%		\$ -33,159,652	\$ -38,540,427	\$ -77,313,401	\$ -33,216,771
Utilidad después de impuestos		\$ 89,653,874	\$ 104,201,895	\$ 209,032,529	\$ 89,808,306
Depreciación		\$ 8,000	\$ 8,000	\$ 8,000	\$ -
GoP del ejercicio anterior					
Inversión	\$ -599,990				
Flujo de caja contable	\$ -599,990	\$ 89,661,874	\$ 104,209,895	\$ 209,040,529	\$ 89,808,306

Tabla 2: Flujo de Caja. (Elaboración propia)

Dado el flujo de caja, se han calculado dos indicadores clave para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. En primer lugar, se calculó el VAN utilizando el WACC establecido por Walmart, el cual equivale a 5.55%. En este caso, el VAN es de aproximadamente 484.068.213, lo que significa que los ingresos generados por el proyecto superan el costo de inversión inicial. Esto refleja que el proyecto es rentable, ya que se espera que genere más ingresos de los que cuesta implementarlo. Por otro lado, se calculó la TIR. En este caso, la TIR es de aproximadamente 14.961%, lo que sugiere que el proyecto tiene una alta capacidad de generar ganancias en comparación con su inversión inicial. Esto es un indicio de que el proyecto puede recuperar su inversión en un período de tiempo relativamente corto. Tanto

¹⁴ Detalle en 12.4 Anexo D.

el VAN positivo como la alta TIR indican que el proyecto es financieramente viable y tiene un fuerte potencial.

7.4. Nuevo proceso

El proceso actual de planificación de carga se caracteriza por una apertura de la demanda de forma semanal. Sin embargo, esta metodología no permite la construcción de un inventario previo para los días de peak de demanda. El sistema GRS cuenta con una herramienta llamada "Order Capping" que recorta la carga si esta supera la capacidad del centro de distribución, por lo que a menudo existe una incapacidad para satisfacer completamente las necesidades de los clientes. A continuación, se muestra un mapa del proceso "AS IS".

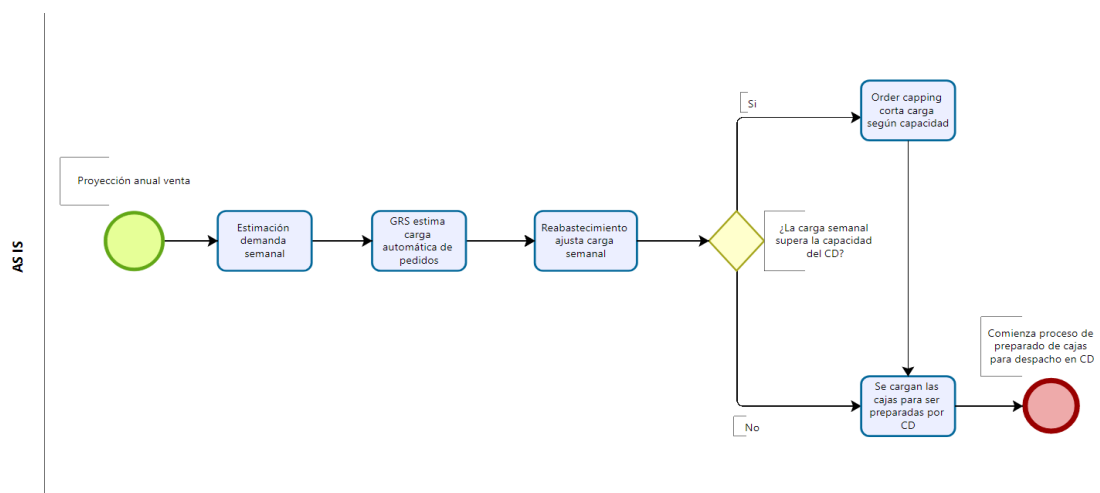


Diagrama 4: Flujo de proceso AS IS de planificación de carga de cajas al CD. (Elaboración propia)

Para mejorar este proceso, se propone un nuevo enfoque que implica proyectar la demanda diaria para aproximadamente una semana y anticipar los días con demanda superior a 50.000 cajas. Cuando se identifiquen estos días, se llevará a cabo un adelanto de carga que será incorporado a través de un template en el sistema SPRD. Esto se realizará a través de un empuje manual y continuará el proceso normal que se lleva hoy en día. Este ajuste en el proceso de planificación de carga garantiza una mayor eficiencia y flexibilidad, permitiendo satisfacer la demanda de manera más efectiva. A continuación, se muestra un mapa del proceso "TO BE".

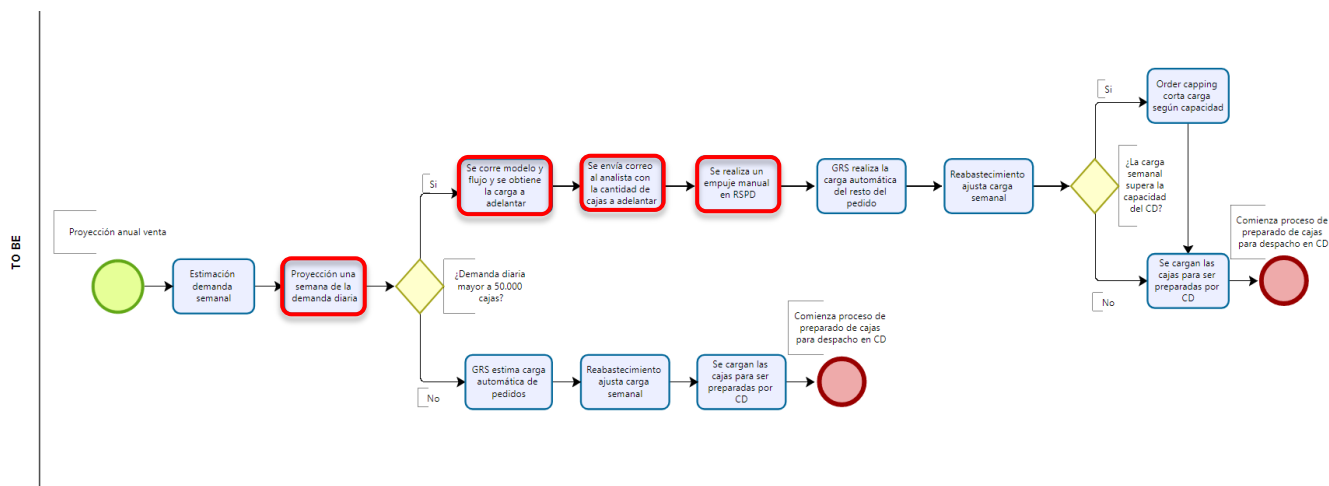


Diagrama 5: Flujo de proceso TO BE de planificación de carga de cajas al CD modificado.

(Elaboración propia)

7.5. Riesgos de implementación

En la implementación del modelo, es crucial anticipar y gestionar posibles riesgos que puedan surgir. Para abordar esta necesidad, se ha desarrollado una matriz de riesgos que tiene como objetivo identificar, analizar y categorizar los posibles obstáculos relacionados con la optimización de la distribución de carga. (SafetyCulture, 2023)¹⁵.

Riesgo	Probabilidad (P)	Impacto (I)	Nivel de Riesgo (E = P X I)	Estrategia de mitigación
Deterioro de Productos Perecederos	Moderado (3)	Mayor (4)	Tolerable (12)	Adelantar productos con mayor vida útil, reduciendo la probabilidad que se deterioren antes de ser vendidos. Establecer un sistema de monitoreo y rotación efectiva de inventario.
Errores en la Estimación de la Demanda	Probable (4)	Mayor (4)	Tolerable (16)	Utilizar métodos de pronóstico confiables y realizar un seguimiento constante de la demanda real.
Escalabilidad del Problema	Moderado (3)	Significativo (3)	Adecuado (9)	Segmentar el problema en partes más manejables y emplear software de optimización avanzado.
Calidad de los Datos de Entrada	Improbable (2)	Mayor (4)	Adecuado (8)	Implementar un sistema robusto de gestión de datos que incluya validación y verificación, así como procedimientos para garantizar la precisión.

Tabla 3: Matriz de riesgos 5x5. (Elaboración propia)

¹⁵ Detalle en 12.5 Anexo E.

Estas medidas preventivas no solo ayudan a mitigar ciertos riesgos, sino que también preparan a la organización para enfrentar desafíos de manera efectiva, garantizando una implementación exitosa.

8. Desarrollo e implementación

8.1. Carta Gantt

Para dar inicio al proceso de implementación, se ha elaborado una detallada carta Gantt que desglosa en cuatro etapas clave, basada en la metodología de investigación de operaciones propuesta anteriormente.

Actividad/Semana	25-sep	2-oct	9-oct	16-oct	23-oct	30-oct	6-nov	13-nov	20-nov	27-nov	4-dic
1. Formulación Modelo Matemático											
Identificar variables y parámetros											
Establecer función objetivo											
Definir restricciones											
2. Construcción del modelo											
Traducción del modelo a términos matemáticos											
Selección del software											
3. Prueba del Modelo											
Validar modelo con pruebas											
4. Control e implementación											
Implementación de solución											
Sistema de seguimiento y monitoreo											

Tabla 4: Carta Gantt. (Elaboración propia)

8.2. Plan de implementación

8.2.1. Formulación del modelo matemático

- **Identificar los parámetros y variables de decisión**

En la fase inicial de la metodología, se definieron los parámetros y variables clave que constituyen el marco del modelo de optimización. Cuatro parámetros críticos fueron identificados para garantizar un adelantamiento de carga efectivo. En primer lugar, se especificó la demanda diaria proyectada para cada producto y local, y se estableció la capacidad diaria de la cámara en 50.000 cajas. Luego, se creó una matriz que considera los días máximos de adelanto para cada producto en cada local, teniendo en cuenta la vida útil y los diferentes formatos de Walmart ¹⁶. Por último, la prioridad de adelanto se configuró según la vida útil de cada producto y la importancia que tiene cada uno con

¹⁶ Detalle en 12.6 Anexo F.

respecto a la venta, la cual fue clasificada con el método ABC, asignando valores de prioridad según estas características ¹⁷.

En cuanto a las variables, se determinó, por un lado, si un producto debe adelantarse a un local en un día específico, y por otro, cuántas cajas de cada producto deben adelantarse diariamente a cada local. Este enfoque tiene como objetivo suavizar la curva de carga.

- **Establecer una función objetivo**

Con los parámetros y variables previamente definidos, se diseñó la función objetivo. Su principal enfoque es minimizar la cantidad de cajas a adelantar, priorizando el adelanto de productos con mayor vida útil.

- **Definir restricciones**

Se aplicaron restricciones fundamentales para asegurar un adelantamiento de carga efectivo. En primer lugar, se implementó una restricción de capacidad que impide que la demanda diaria exceda la capacidad máxima de la cámara, determinando la cantidad de cajas de cada producto que deben ser adelantadas. Además, se estableció una restricción para limitar la cantidad máxima de productos adelantados, considerando su vida útil y los días permitidos para el adelanto. Por último, se introdujo una restricción que activa la variable binaria sólo cuando es necesario adelantar, evitando adelantos innecesarios.

8.2.2. Construcción del modelo

Se procedió a la formalización matemática del modelo, incorporando todas las nomenclaturas necesarias. Una vez completada esta etapa, se llevó a cabo una investigación para identificar el software más adecuado para abordar modelos de programación lineal, considerando tanto la eficiencia como la facilidad de uso. En este contexto, la elección recayó en AMPL, un programa utilizado en optimización, conocido por su interfaz amigable y versatilidad. Posteriormente, se decidió emplear CPLEX como el solucionador, reconocido por su eficiencia en la resolución de problemas de

¹⁷ Detalle en 12.7 Anexo G.

programación lineal. La programación del modelo se llevó a cabo mediante un archivo .mod ¹⁸.

8.2.3. Prueba del modelo

Una vez programado el modelo, se realizó una prueba inicial con un conjunto limitado de combinaciones producto-local, evaluando la eficacia del adelantamiento de carga ante la demanda proyectada. Se identificaron 3 casos de demanda que superaban la capacidad prevista, lo que permitió verificar la coherencia de los resultados. Para la introducción de los parámetros se utilizó un archivo .dat.

Se realizaron ajustes en el modelo para visualizar los resultados de manera más clara en un archivo de Excel. Con esto, se logró que los días con alta demanda se mantuvieran por debajo de las 50.000 cajas. Además, se verificaron las restricciones, donde se cumplió que las cajas adelantadas estuvieran dentro del rango de más de 20 días de vida útil.

Confirmado el funcionamiento del modelo con esta prueba inicial, se procedió a ingresar los parámetros correspondientes a los 488 ítems y los 377 locales de frutas y verduras. El modelo demostró su capacidad para encontrar soluciones de adelantamiento de carga que cumplieran con las restricciones establecidas.

8.2.4. Establecimiento de controles e implantación de la solución

Para la implementación del modelo, se abordó el manejo de los datos generados por la salida en Excel de AMPL. En este archivo, la cantidad de cajas a adelantar de cada ítem a cada local se presentaba en matrices, donde se visualizaban todos los locales e ítems. Si un ítem no era adelantado, se representaba con un cero. Con el objetivo de facilitar el proceso de empuje manual de las cajas adelantadas, se ancló el archivo de AMPL a OneDrive y se creó un flujo a través de la aplicación Dataiku¹⁹. La data resultante entrega el ítem, local y las cajas a adelantar, la cual se guarda en un archivo Excel anclado en una carpeta de OneDrive, que se actualiza cada vez que se ejecuta el flujo ²⁰. Para mejorar aún más el proceso, se estableció una alerta automatizada. Cada vez que se requiere adelantar

¹⁸ Detalle en 12.8 Anexo H.

¹⁹ Detalle en 12.9 Anexo I.

²⁰ Detalle en 12.10 Anexo J.

cajas, se envía un correo electrónico automático a los analistas, junto con el Excel, para que lo ingresen a SPRD y realicen el empuje manual.

9. Resultados

9.1. Impacto métrica primaria

Tras la implementación del modelo, se lograron resultados óptimos en el nivel de Instock en los días siguientes a los peak de demanda. A continuación, se presenta una comparación del IS antes y después de la implementación.

Métrica	Situación Base	Resultado
IS Mínimo	78,5%	86,1%
IS Promedio	86%	89,8%

Tabla 5: Resultados Instock (Elaboración propia).

Se destaca que el IS mínimo durante el periodo de implementación aumentó en un notable 7,6%, comparado con el 78,5% de periodos anteriores. Además, se obtiene que el IS promedio alcanzó el 89,8%, reflejando un crecimiento del 3,8% en la disponibilidad en tienda cuando la demanda supera las 50.000 cajas. Ahora, para una visión más clara de estas mejoras, se presenta un gráfico que ilustra la evolución de la métrica IS.

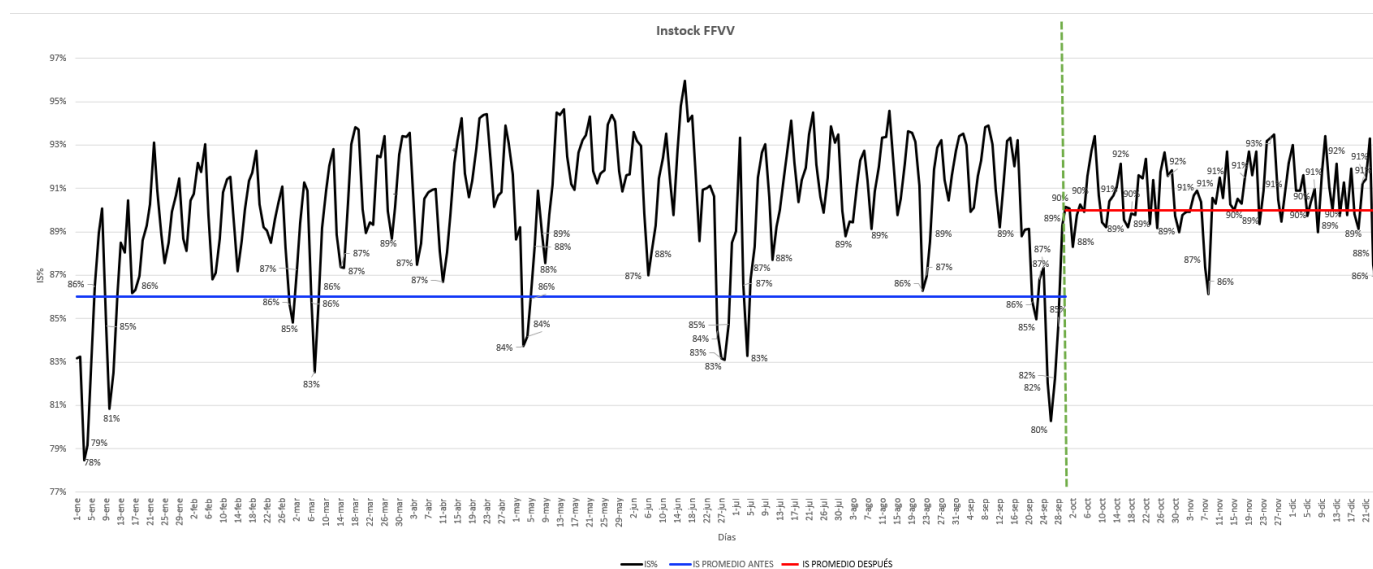


Gráfico 8: Instock de la categoría de FFVV. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de las últimas 51 semanas)

Desde que se comenzó a realizar el adelanto de carga a lo largo de la semana, se observa en el gráfico que los días en que se supera la capacidad de la cámara no han generado una disminución significativa en el Instock. Con esta solución, el comportamiento del IS se ha vuelto más estable, manteniéndose dentro del rango entre el 86% y el 93%. Además, como se mencionó previamente, el IS promedio alcanzó un 89,8%, aproximándose al objetivo establecido del 90%.

Es relevante señalar que la leve diferencia respecto al objetivo puede atribuirse al siguiente factor. Se destaca que, en 2 de los 20 días en estudio en donde se superó la capacidad luego de la implementación, no se logró distribuir completamente la carga a adelantar. Esta situación se debe a tres días consecutivos con demanda elevada, lo que dificultó la distribución de la carga a lo largo de la semana. A pesar de este caso puntual, los resultados generales son muy positivos. A continuación, se presenta un gráfico que evidencia el adelantamiento de carga luego de la implementación, donde se puede notar que disminuyeron los días con peak de ventas, aplanando la curva de carga, y generando un máximo de 50.000 cajas diarias para ser preparadas al día, con excepción de los dos días mencionados anteriormente donde la carga no pudo ser distribuida en su totalidad. Además de presentar su IS respectivo.

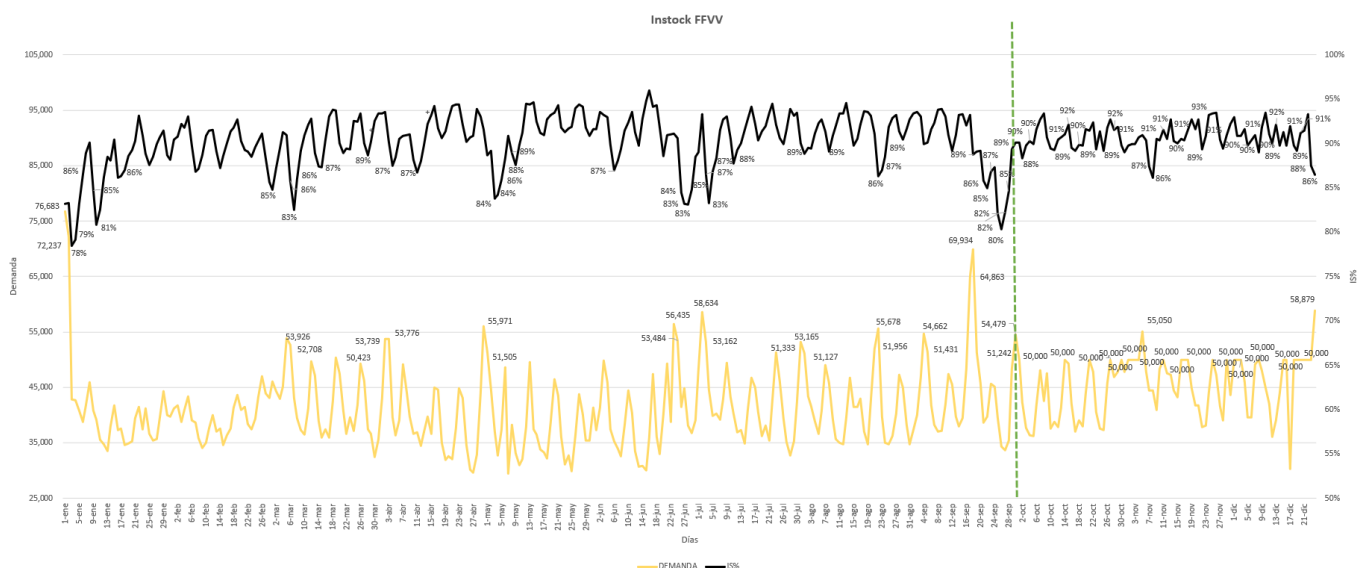


Gráfico 9: Demanda VS Instock FFV antes y después de la implementación (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de las últimas 51 semanas)

Con el propósito de verificar si existen diferencias significativas entre los resultados antes y después de la implementación, se llevó a cabo la prueba estadística Two Sample-T test, donde se obtuvo que el valor de p es de 0,00058. Dado que el valor p es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula. En términos prácticos, esto sugiere que hay evidencia suficiente para afirmar que hay una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras comparadas²¹.

Al considerar el impacto de esta implementación en otras métricas de desempeño, se observa que previo a la aplicación del modelo, de los 274 días analizados, en 26 de ellos quedamos por sobre la capacidad del CD. En cambio, después de implementar la solución, esta situación se dio sólo en 2 días de los 85 días estudiados.

Métrica	Situación Base	Resultado
% Días sobre capacidad	9,5%	2,3%

Tabla 6: Resultados % días sobre capacidad (Elaboración propia).

Estos resultados indican una disminución del 75,7% en el porcentaje de días en que se excede la capacidad, logrando una reducción significativa en este indicador.

Por último, la implementación del modelo también tuvo un impacto en la desviación de cajas a preparar en un día, marcando una diferencia sustancial con respecto a la situación base.

Métrica	Situación Base	Resultado
% Desviación cajas a preparar	1.3%	0.3%

Tabla 7: Resultados % desviación cajas a preparar (Elaboración propia).

El porcentaje de desviación actual es prácticamente nulo, reflejando una reducción del 76,9%. Esta disminución refleja una optimización en la precisión y eficiencia del proceso de preparación.

Adicionalmente, se llevó a cabo una proyección del Instock en función de la demanda esperada para los meses de enero y febrero.

²¹ Detalle en 12.11 Anexo K.

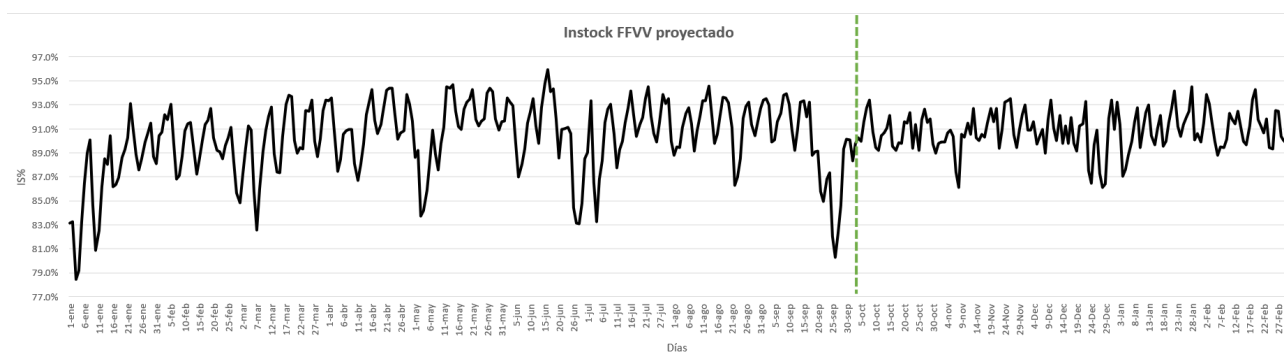


Gráfico 10: Instock histórico y proyectado de la categoría de FFVV. (Elaboración propia con datos obtenidos de Walmart Chile de las últimas 51 semanas)

Los resultados obtenidos revelan que el IS proyectado oscila en promedio alrededor del 91%. Por lo que con la correcta distribución de carga de estos meses se espera que se siga cumpliendo el objetivo establecido del 90%.

9.2. Impacto económico

En relación con el impacto económico, se calculó mediante las ecuaciones mencionadas en el punto 2.3. El costo asociado a mantener las 13.927 cajas pendientes en el CD después de la implementación del modelo ascendió a \$746.134, equivalente a un costo anual de aproximadamente \$2.832.812. En contraste, el costo de una potencial venta perdida alcanzó los \$72.475.000, correspondiendo a \$418.099.987 anualizados aproximadamente.

En términos totales, el impacto económico alcanza aproximadamente \$420.932.799, lo que representa una reducción del 76,9% en comparación con la situación base. En consecuencia, el ahorro anual generado por el adelanto de carga durante los días de peak ventas asciende a \$1.403.109.329.

9.3. Impacto en los colaboradores

En cuanto al impacto en los colaboradores. Aunque añade una tarea adicional al proceso, esta evaluación se ejecuta eficientemente en aproximadamente 2 segundos mediante AMPL. Posteriormente, la ejecución del flujo demora alrededor de 4 minutos, seguida de 20 minutos para realizar los empujes manuales a través de SPRD. A pesar del tiempo dedicado a esta nueva tarea, el proyecto aporta un beneficio significativo en los colaboradores al proporcionar

una planificación más efectiva y un enfoque preventivo. Además, al reducir en un 67% los días en que la cantidad de cajas a preparar por parte del CD superaba las 50.000 unidades, se logró una mejora sustancial en la eficiencia operativa.

9.4. Impacto medio ambiental

Al adelantar la carga de manera eficiente se reduce la cantidad de cajas que quedan pendientes en el centro de distribución, generando que los productos perecibles no excedan su vida útil antes de ser vendidos, minimizando de este modo, el desperdicio de alimentos, contribuyendo a una menor generación de residuos.

9.5. Impacto ético

La implementación del modelo no solo estandariza un proceso al asignar de manera objetiva las cajas que deben ser adelantadas y su destino, dejando de lado cualquier tipo de influencia por intereses personales, sino que también aporta éticamente al asegurar una mayor equidad y transparencia en la toma de decisiones. Al no depender de decisiones individuales, se reduce la posibilidad de sesgos y se promueve un enfoque más objetivo. Además, al agregar esta tarea al proceso, se contribuye a facilitar el trabajo diario de los colaboradores, generando una mejora en la eficiencia sin implicar desempleo, sino más bien, fortaleciendo las tareas individuales de manera constructiva.

10. Conclusión

En conclusión, la implementación del modelo de optimización para el adelantamiento de carga ha generado resultados altamente positivos en el desempeño del Instock y ha tenido un impacto significativo en diversos aspectos operativos y económicos de la empresa.

El modelo ha demostrado su eficacia al suavizar la curva de carga, reducir los días de exceso de capacidad de la cámara y mejorar tanto el IS mínimo como el promedio. El incremento del IS mínimo del 78,5% al 86,1% señala una mejora sustancial en la capacidad de mantener una mayor cantidad de productos disponibles en tienda, incluso durante periodos de alta demanda. El aumento del IS promedio, del 86% al 89,8%, refleja una mayor consistencia y estabilidad en la disponibilidad de la totalidad de productos, por lo que se puede concluir que se alcanzó el objetivo propuesto. Estos resultados respaldan la eficacia del modelo para mejorar la gestión de inventarios.

Además, la implementación ha generado un ahorro anual significativo de \$1.403.109.329, lo que no solo beneficia en términos financieros, sino que también destaca la capacidad de anticiparse a situaciones críticas, evitando la falta de stock y potenciales pérdidas de ventas.

Por último, el aporte crucial del estudiante en este proyecto, aplicando conocimientos adquiridos en gestión de operaciones y optimización, ha sido fundamental para el éxito del modelo matemático implementado. La capacidad para abordar desafíos, como trabajar con datos complejos, ha contribuido a la toma de decisiones informadas y estratégicas.

11. Referencias

- Brown, G. et al. (2001) *The Kellogg Company optimizes production, inventory, and Distribution*. United States: Naval postgraduate school monterey ca dept of operations research.
- Falabella (2022) *Falabella Retail Incrementó en 50% La Capacidad de Su Centro de Distribución Más Moderno y sostenible de la región, Somos Falabella*. Available at: <https://www.somosfalabella.com/mas-sustentable/falabella-retail-incremento-en-50-la-capacidad-de-su-centro-de-distribucion-mas-moderno-y-sostenible-de-la-region>
- Inbound Logistics Latam (2016) *Caso de éxito: El Palacio de Hierro, Inbound Logistics Latam expertos de Logística en México y Latinoamérica*. Available at: <https://www.il-latam.com/blog/articulos-centrales/caso-de-exito-el-palacio-de-hierro>
- Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S. et al. (2014) *Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach*
- Nahmias, S. (2007) *Análisis de la producción y las operaciones (5a. Ed.)*. McGraw-Hill Interamericana.
- Rubin Napolitano, L. (2020) *Nestlé U.S.A. Aplica Modelos de Optimización Utilizando Tecnología Para Ahorrar en Costos de Transporte y producción, LinkedIn*. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/nestl%C3%A9-usa-aplica-modelos-de-optimizaci%C3%B3n-utilizando-leopoldo/?originalSubdomain=es>
- SafetyCulture (2023) *Matriz de Riesgo: Importancia y ejemplos, SafetyCulture*. Available at: <https://safetyculture.com/es/temas/evaluacion-de-riesgos/matriz-de-riesgo>
- TLW® (2010) *Caso de éxito En La Gestión de Almacenes, THE LOGISTICS WORLD | Conéctate e inspírate*. Available at: <https://thelogisticsworld.com/historico/caso-de-exito-en-la-gestion-de-almacenes>
- ULMA (2021) *La Empresa Argentina Sinteplast Duplica Su Capacidad de Preparación de pedidos Gracias a la Automatización Intralogística, Almacén inteligente en Sinteplast | ULMA Handling Systems*. Available at: <https://www.ulmahandling.com/es/casos-de-exito/caso-exito-sinteplast>
- Zunic, E., Delalic, S., Hodzic, K., Besirevic, A., Hindija, H. et al. (2018) *Smart Warehouse Management System Concept with Implementation*.

12. Anexos

12.1. Anexo A: Prueba normalidad estadística

```
from scipy.stats import shapiro
import pandas as pd

excel_file = 'IS_histórico_FFVV.xlsx'
df = pd.read_excel(excel_file)

data = df['IS'].dropna()

stat, p_value = shapiro(data)

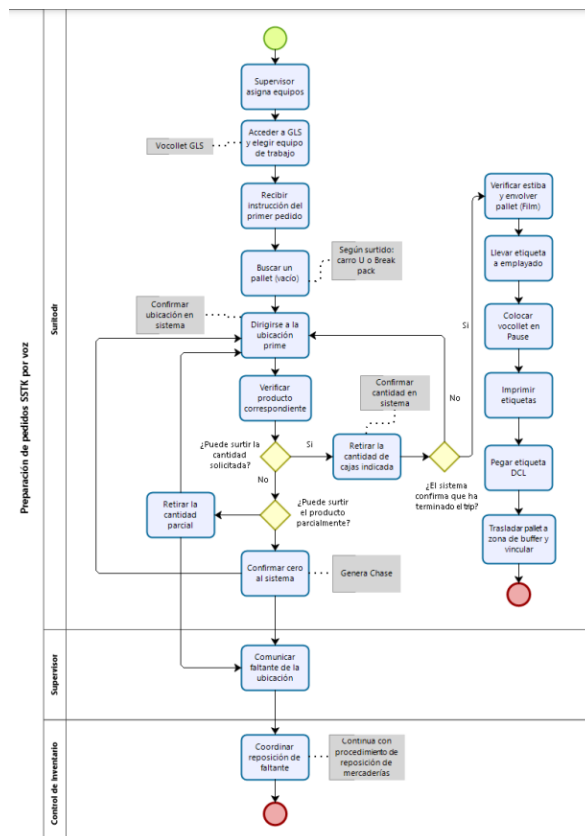
print(f'Estadístico de prueba: {stat:.4f}')
print(f'Valor p: {p_value:.4f}')

alpha = 0.05
if p_value > alpha:
    print('No podemos rechazar la hipótesis nula (la muestra parece provenir de una distribución normal).')
else:
    print('La hipótesis nula es rechazada (la muestra no parece provenir de una distribución normal).')
```

Estadístico de prueba: 0.9662
Valor p: 0.1306
No podemos rechazar la hipótesis nula (la muestra parece provenir de una distribución normal).

12.2. Anexo B: Proceso

A continuación, se presenta el proceso de preparación de cajas para ser despachadas que se realiza en el centro de distribución 6011.



12.3. Anexo C: Simbología flujo de proceso

Para facilitar la comprensión del flujo de proceso, a continuación, se proporciona qué representa la simbología que lo compone.

- Círculo: Marca el comienzo o término del proceso.
- Rectángulo: Indica una etapa o actividad dentro del proceso.
- Rombo: Representa una toma de decisión en el proceso.

12.4. Anexo D: Ingresos, costos e inversión flujo de caja

Para calcular los ingresos de este proyecto, se realizaron dos evaluaciones clave. En primer lugar, se proyectó la demanda durante los próximos cuatro meses para determinar cuántas veces ocurriría el problema de quiebres de stock sin la implementación de la solución. Luego, se evaluaron los beneficios derivados de la reducción de costos asociados a la ubicación de cajas pendientes. Esto se hizo a través de la fórmula (1), haciendo una comparación entre la situación sin la solución y con la solución implementada, considerando el % de la carga que se distribuiría de manera óptima, de acuerdo a la demanda proyectada. La diferencia en costos proporcionó el beneficio generado por la reducción de costos de ubicación de cajas pendientes.

Además, se calculó con la fórmula (2) cuántos ingresos se generarían al reducir esos quiebres de stock y aumentar la disponibilidad en tienda, lo que traduciría en una venta potencial. A continuación, se muestra una tabla detallada de beneficios para cada mes.

Indicador	Sin solución	Con solución	Beneficio	
Costo por ubicación				
MES 1	\$ 668,304	\$ 33,415	\$	634,888
MES 2	\$ 1,260,054	\$ 378,016	\$	882,038
MES 3	\$ 3,214,982	\$ 642,996	\$	2,571,986
MES 4	\$ 629,036	\$ 31,452	\$	597,584
Potencial Venta Perdida				
MES 1	-	-	\$	123,503,238
MES 2	-	-	\$	143,184,885
MES 3	-	-	\$	285,098,544
MES 4	-	-	\$	122,427,493

Por otro lado, en cuanto a los costos asociados al proyecto, se consideró el salario mensual de un ingeniero y, los costos relacionados a la licencia de Microsoft, necesaria para utilizar las aplicaciones de Microsoft durante el proyecto. La licencia anual de Microsoft tiene un costo de aproximadamente 50.000 pesos, pero dado que el proyecto tiene una duración de 3 meses,

esto se traduce en un costo de 16.600 pesos mensuales durante el tiempo que dura el proyecto.

Costos	Cifra	Meses
Sueldo Ingeniero	\$ -1,300,000	3
Licencia Microsoft	\$ -16,600	3

Por último, como inversión inicial se contempló únicamente el costo de un computador. El cual, se deprecian en un periodo de 5 años.

Valor residual	\$	119,998
Depreciación anual	\$	95,998
Depreciación mensual	\$	8,000

12.5. Anexo E: Matriz de riesgo

La matriz de riesgo se realizó en base a la siguiente matriz.

		Impacto ¿Qué tan severos serían los resultados si ocurriera el riesgo?				
		Insignificante 1	Menor 2	Significativo 3	Mayor 4	Severo 5
Probabilidad ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra el riesgo?	5 Casi seguro	Medio 5	Alto 10	Muy alto 15	Extremo 20	Extremo 25
	4 Probable	Medio 4	Medio 8	Alto 12	Muy alto 16	Extremo 20
	3 Moderado	Bajo 3	Medio 6	Medio 9	Alto 12	Muy alto 15
	2 Poco probable	Muy bajo 2	Bajo 4	Medio 6	Medio 8	Alto 10
	1 Raro	Muy bajo 1	Muy bajo 2	Bajo 3	Medio 4	Medio 5

“SafetyCulture, 2023”

12.6. Anexo F: Matriz de adelanto máximo

FORMATO/VU	<10	<15	<20	>20
LIDER	0	1	2	3
MAYORISTA	0	1	2	3
ACUENTA	0	0.5	1.5	2
EXPRESS	0	0.5	1	1.5
EXPRESS 400	0	0.5	0.5	0.5

Esta matriz considera los diversos formatos presentes en Walmart, tales como Líder, Mayorista, aCuenta, Express y Express 400. La cantidad máxima de días que se puede adelantar un producto se clasifica en un rango de 0 a 3, donde 0 indica que no se adelanta y 3

implica un adelanto de 3 días de demanda del producto. La consideración del formato se torna imperativa para ajustar el adelanto a la capacidad de almacenamiento específica de cada uno.

12.7. Anexo G: Matriz prioridad adelanto

VU/IMPORTANCIA	A	B	C
>20	1	1.5	1.8
<20	2	2.5	2.8
<15	3	3.5	3.8
<10	4	4.5	4.8

Esta matriz considera la vida útil de cada producto y la importancia que tienen con respecto a la venta, la cual fue clasificada con el método ABC, del cual se obtuvo que el 80% de la venta es generada por un 12% de los ítems, los que fueron clasificados como A, el 15% de la venta es generada por el 19% de los ítems, los que fueron clasificados como B y el 5% de la venta es generada por el 70% de los ítems, los que fueron clasificados como C. Teniendo estos dos criterios en consideración, se asigna prioridad 4,8 a aquellos con vida útil inferior a 10 días y que pertenecen a la categoría C, indicando que no se adelantan, y prioridad 1 a aquellos con vida útil superior a 20 días y que son parte de la categoría A, señalando que son los primeros en adelantar.

12.8. Anexo H: Modelo de optimización AMPL

```
#Conjuntos
set I; # Conjunto de productos
set J; # Conjunto de locales
set T; # Conjunto de días

#Parámetros
param DEM{i in I, j in J, t in T}; # Demanda de producto i en el local j en el día t
param CAP{t in T}; # Capacidad del centro de distribución en el día t
param MAX_ADJ{i in I, j in J}; # Máximo adelanto por vida útil para producto i en el local j
param PR{i in I}; # Prioridad de adelanto que tiene el producto i;

#Variables de decisión
var A{i in I, j in J, t in T} integer >= 0; # Cantidad de adelanto del producto i en el local j en el día t
var Y{i in I, j in J, t in T} binary; # Variable binaria de activación

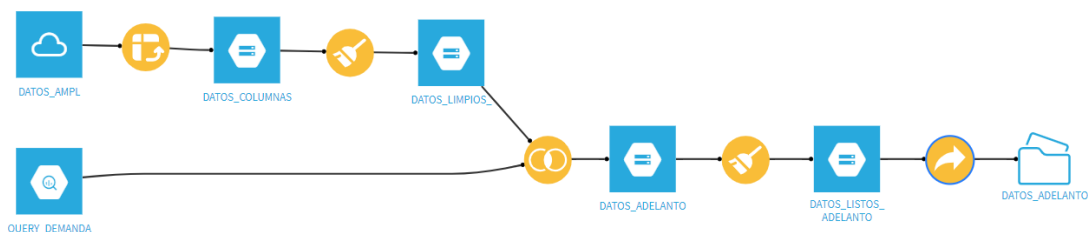
#Función objetivo
minimize Total_Advancement:
    sum{i in I, j in J, t in T}(PR[i]*A[i, j, t]);

#Restricciones
subject to Capacity_Constraints{t in T}:
    sum{i in I, j in J} DEM[i, j, t] <= CAP[t] + sum{i in I, j in J} A[i, j, t];

subject to Maximum_Advancement{i in I, j in J, t in T}:
    A[i, j, t] <= MAX_ADJ[i, j]*DEM[i, j, t];

subject to Activation_Constraints{i in I, j in J, t in T}:
    A[i, j, t] <= Y[i, j, t]*CAP[t];
```


12.9. Anexo I: Flujo Dataiku



Este flujo comprende varios pasos esenciales. Inicialmente, se ordenaron los datos de la matriz en columnas, la cual contiene información sobre el local, ítem, adelanto y día. Posteriormente, se llevó a cabo una limpieza de la data, eliminando aquellas combinaciones en las que no se adelantaban cajas. Por último, la información se fusionó con la consulta de demanda.

Este cruce de información se realizó para garantizar que la cantidad de cajas que debían adelantarse cada día no excedieran la capacidad de la cámara los días previos. Entregando como resultado un Excel anclado a OneDrive con el local, ítem y cajas para adelantar. Además, este Excel es enviado a los analistas a través de un correo automático.

12.10. Anexo J: Resultados solución

item	local	adelanto
280731	51	8
280731	53	3
280731	58	15
280731	60	3
280731	62	3
280731	66	12
280731	71	6
276777	97	3
276777	98	3
276777	99	3
276777	121	6
280768	1	8
280768	4	8
280768	8	3
280768	18	18
280768	33	21
280768	35	12
280768	36	3
280768	37	2
280777	65	3
280777	66	6
280777	71	3
280777	72	6
280777	73	3
280777	75	3
281482	87	6
281482	93	9
281482	126	3
281482	129	3
281482	137	2

12.11. Anexo K: Prueba estadística T-Test

```
from scipy.stats import shapiro
import pandas as pd

excel_file = 'COMPARACIÓN_IS.xlsx'
df = pd.read_excel(excel_file)

column_sample1 = 'IS_ANTES'
column_sample2 = 'IS_DESPUÉS'

# Obtener las muestras
sample1 = df[column_sample1]
sample2 = df[column_sample2]

from scipy.stats import ttest_ind
import numpy as np

datos_antes_limpio = sample1[~np.isnan(sample1)]
datos_despues_limpio = sample2[~np.isnan(sample2)]

resultado = ttest_ind(datos_antes_limpio, datos_despues_limpio)

print(f"Estadística de prueba (t): {resultado.statistic}")
print(f"Valor p: {resultado.pvalue}")

umbral_significancia = 0.05
if resultado.pvalue > umbral_significancia:
    print("No hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.")
else:
    print("Se rechaza la hipótesis nula.")
```

Estadística de prueba (t): -3.5725131245801505
 Valor p: 0.0005853452012802887
 Se rechaza la hipótesis nula.