

INFORME FINAL PROYECTO PASANTÍA

Reducción de cajas inmovilizadas en los centros de distribución de Walmart Chile a través de la optimización del SSCOV

23.12.2023

Alumna: Isidora Méndez

Carrera: Ingeniería civil Industrial

Resumen ejecutivo

Este proyecto surge para abordar el desafío de las cajas inmovilizadas en los centros de distribución 6009 y 6020 de Walmart Chile, específicamente para el área de ACP (alimentos, consumibles y mascotas), en donde en promedio se manejaban 919 mil cajas que permanecían por más de 30 días en el centro de distribución. Estas cajas inmovilizadas no solo representan una pérdida económica como costo de oportunidad, sino que además utilizan un valioso espacio en los centros de distribución, llegando a ocupar más de 19.213 ubicaciones en promedio (40% de los centros de distribución) y repercutiendo económicamente en \$3.458.340.000 anualizados. Dado el problema, se plantea como objetivo la reducción de las ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas en los centros de distribución 6009 y 6020, en donde se espera reducir en un 70% las ubicaciones con respecto a la media y a su vez reducir los días de inventario promedio que se manejan. Estas cajas inmovilizadas son causadas principalmente por un stock superior a la necesidad mensual del producto, generando un sobre stock que permanece por más de 30 días en el centro de distribución. Este sobre stock se debe al cálculo poco dinámico del stock de seguridad, el cual surge de la multiplicación entre el índice SSCOV y la estimación de demanda futura. La solución propuesta se centra en la optimización del SSCOV (días de cobertura) mediante un modelo matemático programado en AMPL que toma en cuenta diversos parámetros esenciales para el cálculo del stock de seguridad, logrando reducciones sustanciales en los días de cobertura, mejorando la eficiencia en la gestión de inventarios y reduciendo las cajas inmovilizadas. Los resultados iniciales indican que los SSCOV obtenidos con el modelo son significativamente más bajos, con una reducción del 42% en ubicaciones inmovilizadas. Aunque el objetivo no se alcanzó en los primeros tres meses, la proyección indica que se logrará en los próximos meses. El estudiante ha contribuido aplicando conocimientos en gestión de operaciones y optimización, desarrollando un modelo matemático adaptado a la realidad operativa de Walmart. Aunque la evaluación completa del impacto debe realizarse a medida que se acumulan más datos y se implementan ajustes adicionales, el proyecto ha generado un impacto positivo al mejorar la eficiencia y reducir costos en la gestión de inventarios de Walmart Chile.

ABSTRACT

This project emerges to address the challenge of immobilized boxes in Walmart Chile's distribution centers 6009 and 6020, specifically for the ACP (food, consumables, and pets) area, where an average of 919 thousand boxes were handled, remaining in the distribution center for more than 30 days. These immobilized boxes not only represent an economic loss as an opportunity cost but also occupy valuable space in the distribution centers, reaching more than 19,213 locations on average (40% of the distribution centers) and impacting economically with an annualized cost of \$3.458.340.000. Given the problem, the objective is to reduce the locations used by immobilized boxes in distribution centers 6009 and 6020, aiming for a 70% reduction in locations compared to the average and a simultaneous reduction in average inventory days. These immobilized boxes are mainly caused by stock exceeding the monthly product needs, creating overstock that remains in the distribution center for more than 30 days. This overstock is due to the less dynamic calculation of safety stock, which arises from the multiplication of the SSCOV index and the estimate of future demand. The proposed solution focuses on optimizing SSCOV (coverage days) through a mathematical model programmed in AMPL that considers various essential parameters for safety stock calculation, achieving substantial reductions in coverage days, improving inventory management efficiency, and reducing immobilized boxes. Initial results indicate that the SSCOVs obtained with the model are significantly lower, with a 42% reduction in immobilized locations. Although the goal was not achieved in the first three months, the projection indicates that it will be accomplished in the coming months. The student has contributed by applying knowledge in operations management and optimization, developing a mathematical model adapted to Walmart's operational reality. While a complete impact assessment needs to be conducted as more data accumulates and additional adjustments are implemented, the project has generated a positive impact by improving efficiency and reducing costs in Walmart Chile's inventory management.

ÍNDICE

Resumen ejecutivo.....	2
ABSTRACT	3
1. Contexto	6
1.1. Empresa.....	6
1.2. Contexto del Problema.....	7
2. Problema	9
2.1. Definición del problema	9
2.2. Medida de desempeño.....	9
2.3. Sustento del problema	10
2.4. Validación medida de tendencia central	10
2.5. Impacto económico	11
2.6. Proceso.....	12
3. Objetivo	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos.....	13
3.3. Medidas de desempeño	14
4. Análisis de causas	14
4.1. Elección causa a atacar	15
5. Estado del arte	16
5.1. Revisión literatura	16
6.1. Soluciones factibles.....	18
6.2. Criterios de selección	19
7. Metodología.....	20
7.1. Recomendación	20
7.2. Modelo de optimización del stock de seguridad SSCOV	22
7.3. Evaluación económica.....	23
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 problema.....	27

8.2.2.	Construcción del modelo	29
8.2.3.	Prueba del modelo.....	29
8.2.4.	Implementación y evaluación	30
9.	Resultados	30
9.1.	Impacto métrica primaria	31
9.2.	Impacto económico	33
9.3.	Otros impactos	34
9.3.1.	Ético	34
9.3.2.	Medio ambiente	34
9.3.3.	Colaboradores	34
10.	Conclusiones	35
11.	Referencias	36
12.	Anexo.....	37
12.1.	Anexo A: Prueba de normalidad	37
12.2.	Anexo B: Definición causas.....	37
12.3.	Anexo C: SSCOV	38
12.4.	Anexo D: Elementos flujo de caja.....	39
12.4.1.	Ingresos	39
12.4.2.	Costos.....	39
12.4.3.	Inversión.....	39
12.4.4.	Depreciación	40
12.5.	Anexo E: Calculo VAN	40
12.6.	Anexo F: Matriz de riesgo.....	40
12.7.	Anexo G: Clasificación ABC.....	41
12.8.	Anexo H: Clasificación nivel de servicio	41
12.9.	Anexo I: Matriz resultados multiplicación	42
12.10.	Anexo J: Modelo de optimización en AMPL	42
12.11.	Anexo K: Resultados modelo	42
12.12.	Anexo L: Resultados T test	44

1. Contexto

1.1. Empresa¹

Walmart Chile es una filial de Walmart Inc., una de las cadenas minoristas más grandes y reconocidas a nivel mundial, la cual se originó hace 54 años en Estados Unidos y cuenta con más de 370 locales a lo largo de Chile, 46.500 colaboradores y una cuota de mercado de aproximadamente el 20% del valor minorista total. La empresa opera bajo las marcas “Lider”, “Acuenta”, “Lider express”, “Express 400” y “Central Mayorista”, caracterizándose por el cumplimiento de su misión: ahorrarle dinero a sus clientes para que puedan vivir mejor.

En el marco de la pasantía en Walmart Chile, la alumna se encuentra en el área de Supply Chain, específicamente en fullfilment de ACP (Alimentos, Consumibles y mascotas) área que se encarga de productos de la canasta familiar como arroz y pastas, productos de belleza y cuidado, productos dulces, líquidos y alimentos para mascotas. Fullfilment se encarga de procesar pedidos basados en la demanda y asegurarse de que lleguen bien desde el proveedor a los 7 centros de distribución de Walmart y luego a las tiendas correspondientes, asegurando la disponibilidad de productos en todo momento para el cliente Omnicanal, al menor costo posible y garantizando la mejor experiencia de compra. Supply chain ACP cuenta con 19 analistas, 5 subgerencias y 2 gerencias, el diagrama 1 muestra la estructura organizacional para esta área.

Diagrama 1: Organigrama Supply chain ACP

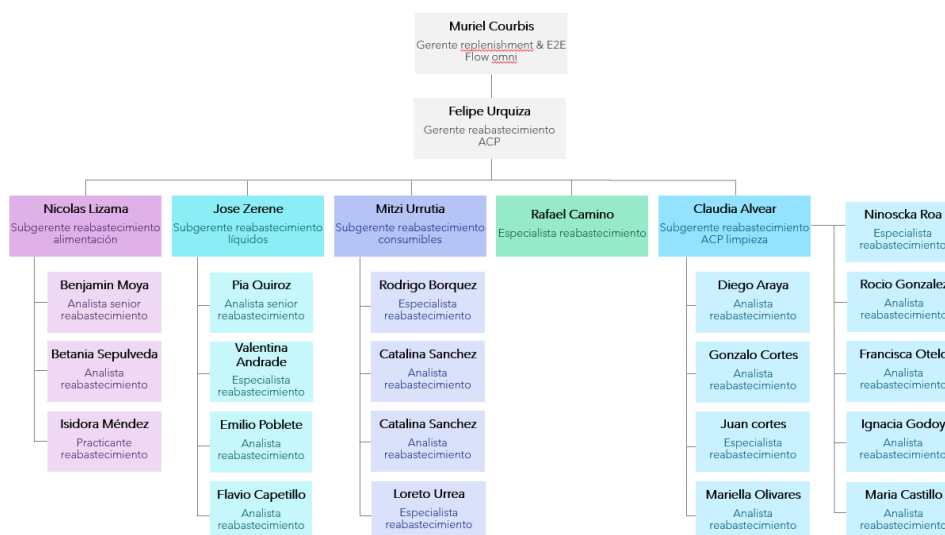


Diagrama 1: Estructura organizacional del área de supply chain ACP de Walmart Chile.

¹ Nosotros. (Walmart Chile, 2021)

1.2. Contexto del Problema

En el entorno competitivo y dinámico del comercio minorista, la eficiencia en la cadena de suministro es un factor crítico para el éxito de las empresas. El área de ACP de Walmart se enfrenta a un desafío clave en sus 6 centros de distribución, la acumulación de cajas inmovilizadas, las cuales son cajas que por naturaleza deberían estar dentro del flujo operativo normal, sin embargo, por diferentes motivos se encuentran estáticas dentro del centro de distribución. Estas cajas pueden catalogarse como inmovilizadas por dos razones, la primera es que tengan días de inventario mayor a 30, es decir, son cajas que no van a salir automáticamente en menos de un mes, la otra razón es que estas cajas definitivamente no tengan salida, ya que poseen cualidades que les impiden ser mandadas de forma automática a las tiendas.

Tras establecer el contexto de la empresa y la naturaleza del proyecto, es esencial explorar los datos históricos que sustentan la problemática. A nivel de cajas inmovilizadas de ACP, de acuerdo con lo expuesto en el gráfico 1, se presenta un aumento porcentual de aproximadamente un 70% entre la primera y la última fecha en medición, apreciándose una tendencia al alza para las últimas seis semanas y una mediana equivalente a 918 mil cajas². A continuación, se muestra la evolución histórica de las cajas inmovilizadas considerando 13 semanas de recopilación de datos.

Gráfico 1: Evolutivo cajas inmovilizadas

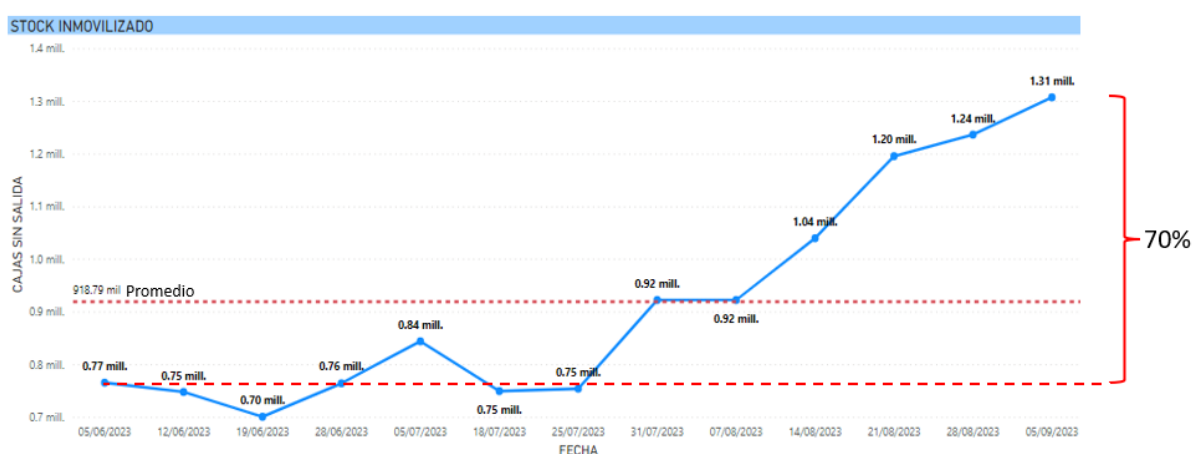


Gráfico 1: Evolución de cantidad de cajas inmovilizadas de ACP en los diferentes centros de distribución de Walmart Chile. Recopilación de datos de 13 semanas. **Elaboración propia.**

² El periodo de evaluación se encuentra entre el 5 de junio del 2023 al 5 de septiembre del 2023 de forma semanal

Estas cajas se encuentran inmovilizadas en los 6 centros de distribución que posee Walmart a lo largo de Chile, el gráfico 2 muestra el promedio de cajas inmovilizadas por centro de distribución.

Gráfico 2: Promedio cajas inmovilizadas por CD

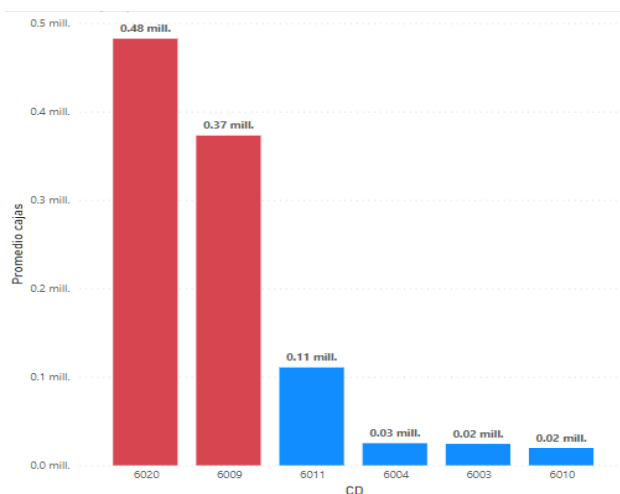


Gráfico 2: Cantidad promedio de cajas inmovilizadas de ACP por centro de distribución.

Datos obtenidos de 13 semanas. **Elaboración propia**

En este gráfico se puede apreciar que el centro de distribución 6020 que corresponde a Peñón y 6009 que corresponde a Lo Aguirre, son los que en promedio presentan la mayor cantidad de stock inmovilizado, representando un 56% del total. Es debido a esto que el proyecto se enfocará en estos dos centros de distribución, con el fin de delimitar el universo del problema.

La elección de este proyecto se debe a que abordarlo representa un desafío ingenieril y un desarrollo de conocimientos en áreas de logística, gestión y análisis de datos, lo que otorga la oportunidad de aplicar habilidades aprendidas en el transcurso de la carrera en un entorno real y complejo. Este proyecto tiene una gran relevancia ya como se puede ver del gráfico 3, un porcentaje considerable del total de stock se encuentra inmovilizado en los centros de distribución, lo que representa una amenaza para la eficiencia operativa, la rentabilidad y la sostenibilidad.

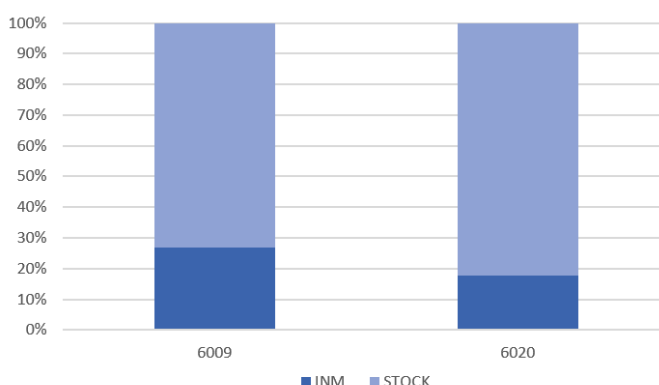
Gráfico 3: Cajas inmovilizadas v/s Stock total por CD

Gráfico 3: Comparación porcentual entre la cantidad de cajas inmovilizadas y las totales de cada centro de distribución. **Elaboración propia.**

Además, a ACP se le otorga el 30% de las ubicaciones del CD 6020 y un 80% del CD 6009, lo que se traduce en una ocupación del 40.6% del espacio de ACP en stock inmovilizado, por lo que es de suma importancia usar estos espacios de la mejor forma posible. Al optimizar la gestión de estas cajas, la empresa puede liberar espacio valioso, maximizar la rotación de productos y minimizar pérdidas económicas y materiales.

2. Problema

2.1. Definición del problema

Entre el 5 de julio de 2023 y el 5 de septiembre de 2023 la cantidad promedio de ubicaciones causadas por cajas inmovilizadas en los centros de distribución 6009 y 6020 fue de 19.213 ubicaciones/semana, esto ha generado un impacto negativo de \$3.465.970.550 anualizados.

2.2. Medida de desempeño

Estas cajas no solo representan una pérdida de valor en el aspecto individual, sino que generan espacios inutilizados dentro de los centros de distribución, lo que se traduce en una menor capacidad de almacenamiento de estos. En este sentido, el foco del proyecto se desplaza hacia el efecto espacial que posee el stock inmovilizado, en donde el mayor desafío se encuentra en la gestión del espacio dentro de los centros de distribución, por lo que la medida de desempeño a trabajar será la de ubicaciones semanales utilizadas por cajas inmovilizadas.

2.3. Sustento del problema

A nivel de KPI, la media corresponde a 19.213 ubicaciones/semana, donde se puede apreciar que las últimas seis semanas en evaluación presentan ubicaciones semanales mayores a la media llegando a alcanzar las 24.552 ubicaciones y un aumento porcentual de 31% entre la primera y última fecha en medición. A continuación, se muestra la evolución que ha tenido la medida de desempeño ubicaciones/semana.

Gráfico 4: Evolutivo KPI ubicaciones/semana

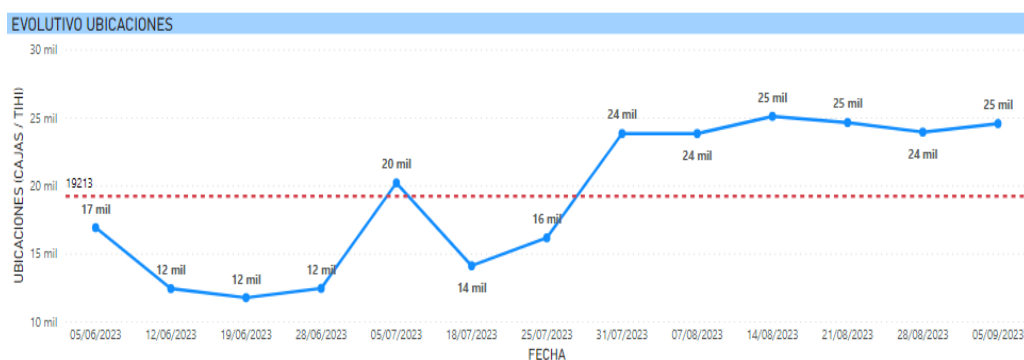


Gráfico 4: Evolutivo de ubicaciones utilizadas por las cajas inmovilizadas en todos los centros de distribución de Walmart Chile. Recopilación de datos de 13 semanas. **Elaboración propia.**

2.4. Validación medida de tendencia central

Con el propósito de validar el uso del promedio en el análisis de datos, se llevó a cabo un análisis de normalidad, este análisis es fundamental para asegurar que los supuestos de normalidad se cumplan antes de aplicar técnicas estadísticas que requieran de esta.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk fue utilizada para evaluar si los datos siguen una distribución normal, los resultados de esta prueba arrojaron un valor de estadística de prueba (w) de 0.878 y un valor p de 0.067³. En este caso, el valor de W sugiere que los datos tienen una similitud razonable con una distribución normal. Por otro lado, debido a que el valor p es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, no hay suficiente evidencia para decir que los datos no son normales y se asume que las ubicaciones/semana siguen una distribución normal. Por lo tanto, es razonable utilizar el promedio como medida central en el análisis de estos datos, considerando las precauciones necesarias relacionadas con las desviaciones observadas.

³ Detalles en 12.1 Anexo A: Prueba de normalidad

2.5. Impacto económico

El impacto económico del problema posee dos dimensiones. En primer lugar, se tiene el costo de oportunidad del dinero inmovilizado correspondiente al valor de la caja inmovilizada. Por otro lado, se tiene el costo de mantener el inventario en el centro de distribución, correspondiente al espacio que utiliza la caja.

El costo de oportunidad del dinero inmovilizado de las cajas se calculó en base al costo de capital de Walmart, el cual es una medida que refleja la tasa de rendimiento mínima que se espera de una inversión para que la empresa considere el proyecto como rentable, y se calcula a través del costo de capital promedio ponderado (WACC). Este valor, para la empresa, es de 5.55%⁴, por lo que el cálculo de este costo se realiza de la siguiente forma:

$$(1) \quad \text{COSTO DE OPORTUNIDAD} = \sum_{i=1}^n (\text{CAJAS}_i \cdot \text{VPNK}_{\text{COST}_i}) \cdot \text{WACC}$$

Donde:

CAJAS_i : Cantidad de cajas inmoviliadas del item i

$\text{VPNK}_{\text{COST}_i}$: Costo asociado a la caja del item i

n : Cantidad de Items inmovilizados

WACC : Costo de capital de Walmart

Dada esta fórmula, se obtiene un costo de oportunidad anual (utilizando las cajas inmovilizadas en promedio anuales) de \$7.630.550

Por otro lado, el valor económico total de las ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas se calcula de la siguiente forma:

$$(2) \quad \text{COSTO UBICACIÓN} \frac{\$}{\text{Semana}} = \frac{\text{Tarifa} \left(\frac{uf}{\frac{m^2}{\text{semana}}} \right)}{\text{Ocupación} \left(\frac{\text{posiciones}}{m^2} \right)} \cdot \sum_{i=1}^n \text{UBI}_i$$

Donde:

Tarifa : Valor economico en uf del m^2 a la semana.

Ocupación : Factor de ocupación del CD de walmart.

UBI_i : Cantidad de ubicaciones usadas por cajas inmovilizadas del item i .

Dada esta fórmula se obtiene un costo de mantención de inventario en los centros de distribución (utilizando cuántas ubicaciones significan las cajas en promedio anuales) de \$3.458.340.000

⁴ "Valoración por flujos Walmart Chile", Juan Leyton Valdes y Mauricio Jara Bertin

De los dos valores obtenidos se obtiene una suma de \$3.465.970.550, monto que corresponde al impacto económico anualizado del problema.

2.6. Proceso

Para poder abordar el problema de las cajas inmovilizadas, es necesario entender el proceso que sigue una caja desde que es ordenada hasta que toma una posición en el centro de distribución.

Primero, en base a las estimaciones de demanda se realiza la compra y coordinación de la preparación y despacho de la mercadería, generándose así una orden de compra que puede ser para un proveedor nacional o para uno internacional y a su vez puede ser de carácter directa o centralizada. Este informe se centrará en las órdenes de compra centralizadas. Una vez preparado el pedido, el proveedor solicita una cita para despachar la mercadería al centro de distribución, para luego ser recepcionada, descargada y enviada a los distintos procesos dependiendo del tipo de orden de compra. La siguiente etapa consiste en el despacho a las tiendas, el cual se hace en función a la distribución planificada y al acuerdo establecido por los proveedores.

Diagrama 2: Proceso cajas inmovilizadas

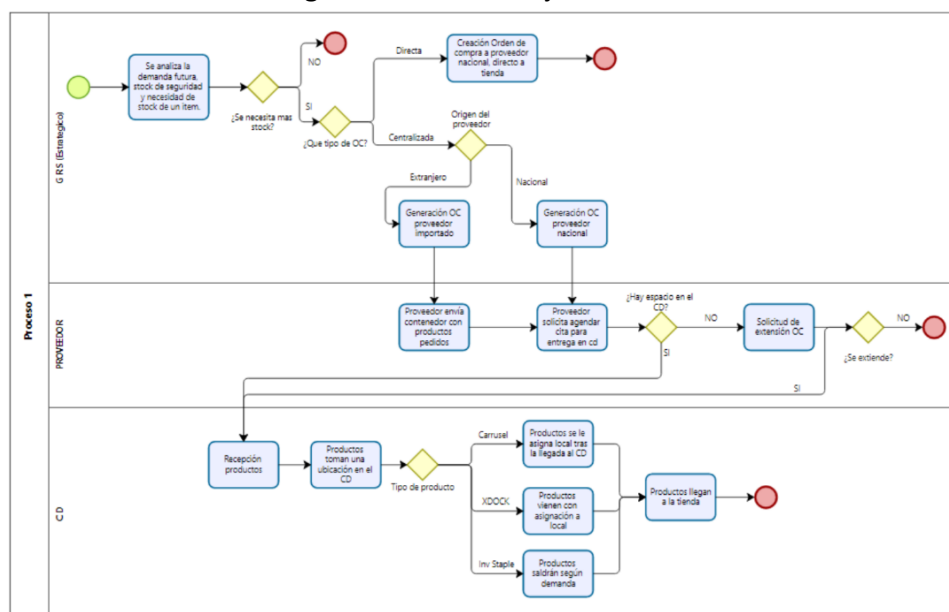


Diagrama 2: Proceso que siguen las cajas inmovilizadas desde que se genera la orden de compra hasta que ocupan una ubicación en el centro de distribución. **Elaboración propia.**

3. Objetivo

3.1. Objetivo general

El objetivo del proyecto es reducir la cantidad de ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas en los centros de distribución 6009 y 6020 en un 70% con respecto a la media. Esto corresponde a pasar de 19.213 ubicaciones/semana a 6.057 ubicaciones/semana en los próximos 3 meses. A continuación, en el gráfico 5 se muestra la brecha entre las ubicaciones que se manejan actualmente y las ubicaciones objetivo.

Gráfico 5: Brecha Problema/Objetivo

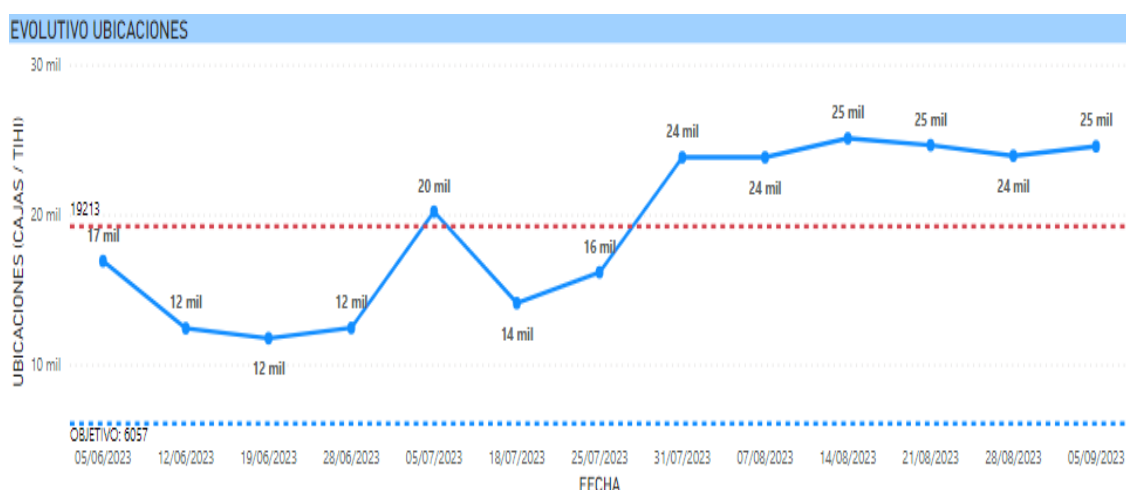


Gráfico 5: Evolutivo de ubicaciones utilizadas por las cajas inmovilizadas en todos los centros de distribución de Walmart Chile, con promedio de las últimas 6 semanas y las ubicaciones objetivo.

3.2. Objetivos específicos

- Reducir los días de inventario promedio que se manejan en los centros de distribución.
- Desarrollar e implementar una solución que mejore la eficiencia operativa y reduzca la cantidad de cajas inmovilizadas.
- Validar la efectividad de la solución mediante la comparación de resultados antes y después de la implementación.
- Evaluar el impacto económico de la solución comparando los costos antes y después de la implementación

3.3. Medidas de desempeño

1. Ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas

Una ubicación es equivalente a un pallet conformado por una o varias cajas, por lo tanto, la medida de desempeño “ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas” se calcula de la siguiente forma para cada ítem:

$$(3) \quad \text{Ubicaciones} \left(\frac{\text{pallet}}{\text{semana}} \right) = \frac{\text{Cajas inmovilizadas}_i}{TI_i \cdot HI_i}$$

Donde:

$\text{Cajas inmovilizadas}_i$: Cajas inmovilizadas en la semana del ítem i

TI_i : Cajas del ítem i que caben en la base de un pallet

HI_i : Cajas del ítem i que caben en la altura del pallet

2. Días de inventario

Los días de inventario se calculan de la siguiente forma:

$$(4) \quad DOH = \frac{STOCK}{\text{Venta diaria promedio}}$$

Donde:

Stock: Unidades de producto que hay en el centro de distribución

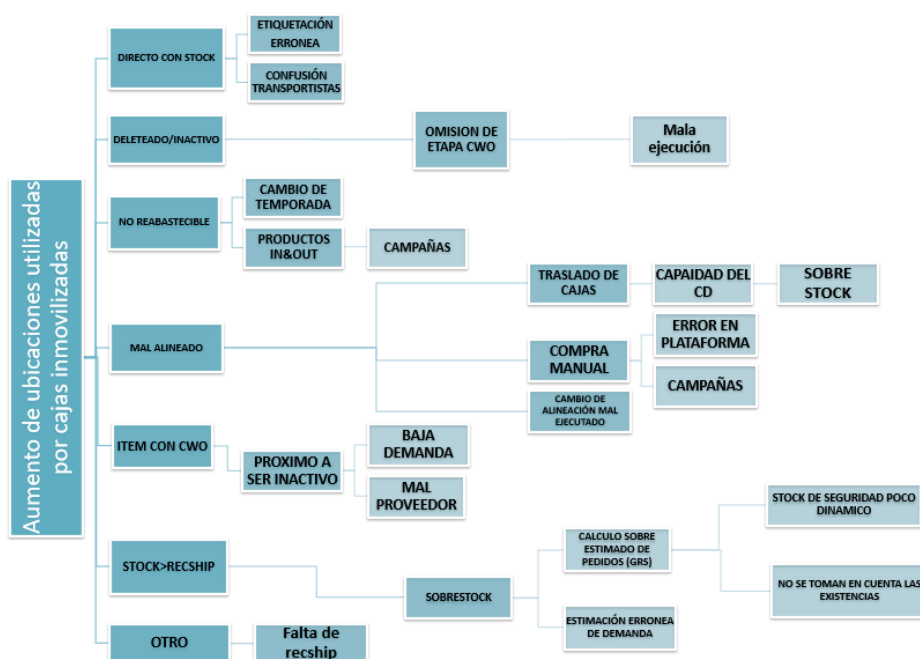
Venta diaria promedio: Unidades diarias promedio que se pronostican vender

4. Análisis de causas

Existen 7 causas observadas que generan que una caja termine inmovilizada en el centro de distribución, estas son Directo con stock, Deleteado/inactivo, No reabastecible, Mal alineado, ítem con cwo, stock>recship y Otro⁵.

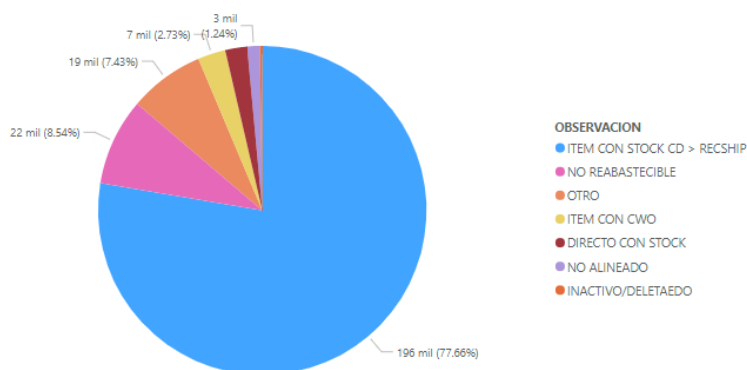
El análisis de causa raíz es un proceso que permite entender la causa subyacente que origina el problema, para poder encontrar la solución adecuada y evitar solo tratar el síntoma. Una técnica para realizar este análisis es el diagrama de los ¿Por qué?, el cual se presenta a continuación:

⁵ Detalle de Causas en Anexo 12.2 B: Definición causas.

Diagrama 3: Detalle causas ubicaciones inmovilizadas**Diagrama 3:** Razones que explican el origen de las 7 causas expuestas. **Elaboración propia**

4.1. Elección causa a atacar

Para poder evaluar la causa a atacar se analizó la abundancia de cada una para entender cuál es la que más afecta en la generación de cajas inmovilizadas, para ello se analizaron los datos de los reportes de 13 semanas, en el cual se especifica el motivo de la inmovilización, y así poder visualizar el principal foco del problema, a continuación, en el gráfico 6, se presentan las causas ya mencionadas y su respectiva abundancia.

Gráfico 6: Ubicaciones inmovilizadas por ubicación**Gráfico 6:** Cantidad porcentual de ubicaciones generadas por cada una de las causas. **Elaboración propia.**

La causa que atacará la solución será la de stock > recship⁶, esta selección se debe principalmente a que es la principal causa de las ubicaciones ocupadas por cajas inmovilizadas, en donde el 77.66% de las ubicaciones inmovilizadas se deben a este motivo.

Para validar esta causa se tomaron los datos de todas las cajas inmovilizadas para las semanas en evaluación y se observaron únicamente las que tenían como motivo "Stock>Recship". Se pudo analizar que el 68% de las cajas agrupadas en esta causa poseían un inventario de más del 7% superior al recship CD-Local, generándose un remanente de stock (sobre stock) que se mantiene en el centro de distribución por más de 30 días, este sobre stock está directamente relacionado con la cantidad de productos que se compran día a día, y tras un análisis de la generación de las órdenes de compra se descubrió que en muchos casos existía una sobre estimación de la cantidad a pedir por GRS, analizando más a fondo el cálculo realizado por la plataforma, se desprendió el poco dinamismo y periodicidad de la estimación del stock de seguridad, así como la falta de consideración del stock existente para el cálculo del mismo.

5. Estado del arte

5.1. Revisión literatura

En la compleja red de operaciones de la cadena de suministro, la gestión efectiva del inventario es esencial para garantizar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Sin embargo, diversos desafíos como la inmovilización de stock han destacado la necesidad de enfoques estratégicos y soluciones innovadoras. A través de una revisión crítica de la literatura, podemos identificar enfoques probados, mejores prácticas y áreas donde la investigación actual puede aportar contribuciones significativas.

Tecnologías robóticas

La implementación de tecnologías robóticas en la gestión de inventarios y operaciones logísticas surge como una solución integral para atender desafíos críticos relacionados al error humano y la productividad. La literatura destaca la capacidad de la robótica para automatizar procesos, reducir errores y minimizar la dependencia de la mano de obra humana⁷ (Nikolaus Correll, 2014). Específicamente, sistemas de picking robótico han

⁶ Recship: Plan de distribución de un ítem del CD a la tienda, de acuerdo con las ventas pronosticadas de cada local.

⁷ "Introduction to Autonomous Robots", Nikolaus Correll, 2014

demostrado eficacia en acelerar la rotación de inventarios al recoger productos de manera precisa y eficiente, ayudando a reducir la cantidad de tiempo que pasan las cajas en estado inmovilizado⁸ (*Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco Luigi Villani, Giuseppe Oriolo, 2010, cap. 1.3*). Empresas como KNAPP ofrecen robots llamados Open Shuttles, los cuales son robots móviles autónomos e inteligentes que permiten aumentar el uso eficiente del centro de distribución, reduciendo el error manual y aumentando la rotación de stock. en 26 de los 175 centros logísticos de Amazon. Estos Robots pueden mover estanterías completas hacia los empleados de manera eficiente y ayudan a los humanos a recoger, clasificar, transportar y guardar paquetes. De este modo los robots permiten acelerar el tiempo de preparación de los pedidos y reducen las distancias que tienen que recorrer los empleados de Amazon, reduciendo a su vez todo lo relacionado a errores humanos a la hora de catalogar y clasificar mercancía.

Machine learning

La aplicación de machine learning en la gestión de inventarios, implica el desarrollo de modelos predictivos que utilizan algoritmos de regresión y clasificación para analizar datos históricos y prever la demanda futura de productos. Estos modelos permiten tomar decisiones informadas sobre los niveles óptimos de inventario, integrando técnicas de optimización como el "EOQ" para minimizar los costos asociados al almacenamiento⁹. (*Andreas C. Müller y Sarah Guido, 2016*). La toma de decisiones dinámica se facilita mediante la capacidad de los modelos para actualizarse con nuevos datos, permitiendo adaptarse a patrones emergentes y estimar de forma más precisa la demanda futura para tomar decisiones basadas en mejores parámetros. Unilever utiliza analítica avanzada y machine learning para mejorar la precisión del pronóstico de la demanda. La empresa implementa modelos predictivos que analizan datos históricos y patrones de consumo para anticipar cambios en la demanda. Esto ayuda a Unilever a ajustar dinámicamente sus estrategias de inventario y saber con más precisión las cantidades de producto a pedir, evitando la acumulación innecesaria.

Stock de seguridad

La gestión eficiente del inventario es esencial en la cadena de suministro, y la determinación adecuada del stock de seguridad emerge como un componente crucial para mitigar el riesgo de sobre stock. "En cualquier sector, el stock se considera como un modo de protección ante errores, propios y ajenos, aleatorios o sistemáticos, presentes, pasados y

⁸ "Robotics: Modelling, Planning and Control", Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco Luigi Villani, Giuseppe Oriolo, 2010

⁹ "Introduction to Machine Learning with Python," Andreas C. Müller y Sarah Guido, 2016

futuros. Así el stock de seguridad se convierte en el principal mecanismo de eficiencia de inventario¹⁰ (García, 2004, pág. 46). La literatura especializada en gestión de inventarios y stock de seguridad emplea diversas metodologías para abordar eficazmente el desafío del sobre stock. Entre estos se destacan métodos de revisión continua¹¹, como el Modelo de Revisión Continua de Inventarios (Q, r), que sugiere órdenes de reposición cuando el inventario alcanza ciertos niveles definidos (Bozarth y Handfield, 2006). Además, se exploran técnicas de pronóstico, donde se plantea el uso de modelos como el Promedio Móvil y el Suavizado Exponencial para prever demandas futuras¹² (Chopra y Meindl, 2000). También existen métodos más avanzados, como el uso de técnicas de optimización y programación dinámica para determinar los niveles de stock de seguridad de manera más precisa, considerando la variabilidad en la demanda y otros factores¹³ (Geoff Relph, 2015).

Procter & Gamble (P&G) ha adoptado estrategias avanzadas de cadena de suministro que incluyen la optimización del stock de seguridad. A través de la colaboración y el intercambio de datos en tiempo real con socios de la cadena de suministro, P&G logra ajustes dinámicos en sus niveles de inventario, evitando excedentes innecesarios en sus almacenes.

6. Solución

6.1. Soluciones factibles

Robots SSI SCAEFER

La introducción de robots automatizados, como los SSI SCHAEFER, en los centros de distribución de Walmart busca abordar el problema de las cajas inmovilizadas causadas por errores humanos. Estos robots autónomos, equipados con tecnología de navegación avanzada, optimizan la eficiencia en la recolección de productos mediante algoritmos de planificación de rutas. La implementación incluiría sensores y tecnologías de visión para mejorar la identificación y clasificación de productos, evitando errores de catalogación y el estancamiento en el centro de distribución. Se recomienda una fase de prueba piloto para ajustar los algoritmos a las necesidades específicas de los centros de distribución de Walmart antes de una implementación a gran escala. Esta solución se enfocaría en reducir errores de catalogación como "ítem directo con stock", "deleteado/inactivo" y "mal alineado".

¹⁰ "Gestión de stocks de demanda independiente", García, J.P., 2004

¹¹ "Introduction to Operations and Supply Chain Management", Bozarth y Handfield, 2006

¹² "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation", Chopra y Meindl, 2000

¹³ "Inventory Management: Advanced Methods for Managing Inventory within Business Systems," Geoff Relph, 2015

Técnicas de pronóstico

La segunda opción propone mejorar las técnicas de pronóstico de demanda en los centros de distribución de Walmart mediante algoritmos avanzados de machine learning, como ARIMA. Al recopilar y analizar datos históricos de venta, se implementarían algoritmos que se integren con las plataformas actuales de Walmart para prever la demanda. La aplicación de estos algoritmos permitiría ajustes dinámicos para flexibilizar los niveles de inventario en respuesta a cambios pronosticados en la demanda. Esta solución se enfocaría en abordar la causa "stock>recship" al generar órdenes de compra más precisas y reducir los niveles de sobre stock que contribuyen a la inmovilización de cajas en el centro de distribución.

Optimización Stock de seguridad (SSCOV)

La tercera alternativa consiste en la optimización del indicador SSCOV¹⁴ (el cual determina el stock de seguridad), el cual hoy en día consiste en un valor estático y determinado arbitrariamente cuando se crea un ítem. Se desea mejorar este valor mediante modelos matemáticos como modelos de optimización estocástica o programación dinámica que tomen en cuenta parámetros importantes para el cálculo de este indicador e integrarlos en el software de planificación de Walmart (GRS)¹⁵ el cual se encarga de generar las órdenes de compra automáticas tomando en cuenta varios parámetros, entre ellos el stock de seguridad. Realizado el modelo matemático, se debería realizar una prueba piloto con datos de prueba, para entender realmente el impacto del SSCOV en la generación de sobre stock, para luego realizar ajustes de ser necesario e implementar el modelo. Esta alternativa también atacaría la causa "Stock>Recship", ya que se generarían órdenes de compra en base a parámetros dinámicos y que reflejen la realidad de la situación.

6.2. Criterios de selección

La selección de la alternativa adecuada para abordar el desafío de las cajas inmovilizadas en los centros de distribución de Walmart requiere una evaluación meticulosa de las tres potenciales soluciones. Para este fin, se ha diseñado una matriz de selección que pondera criterios clave para determinar la viabilidad y eficacia de cada alternativa. A

¹⁴ Detalle en 12.2 Anexo C: SSCOV

¹⁵ Global Replenishment System

continuación, se presenta la matriz de selección con sus criterios y ponderaciones, en donde cada criterio se evalúa del 1 al 5, siendo 1 la peor clasificación y 5 la mejor.

Criterio	Robots automatizados	Técnicas de pronóstico	Modelos SS (SSCOV)
Eficiencia Operativa (15%)	3	4	4
Adaptabilidad/Escalabilidad (15%)	3	5	5
Costos de Implementación y Mantenimiento (15%)	1	4	4
Facilidad de Integración (10%)	3	4	5
Precisión en la Gestión de Stock (15%)	3	4	4
Capacitación del Personal (5%)	2	3	5
Cumplimiento Normativo y Regulatorio (10%)	5	5	5
Relación con área de trabajo y ataca la causa escogida (15%)	1	3	5

Resultados matriz de selección

Alternativa 1: $15\% \cdot (3 + 3 + 1 + 3 + 1) + 10\% \cdot (3 + 5) + 5\% \cdot 2 = 2,55$

Alternativa 2: $15\% \cdot (4 + 5 + 4 + 4 + 3) + 10\% \cdot (4 + 5) + 5\% \cdot 3 = 4,05$

Alternativa 3: $15\% \cdot (4 + 5 + 4 + 4 + 5) + 10\% \cdot (5 + 5) + 5\% \cdot 5 = 4,55$

La alternativa tres, centrada en la "Optimización de stock de seguridad (SSCOV)", se posiciona como la opción más estratégica para abordar el desafío de las cajas inmovilizadas en Walmart. Destacando por su enfoque integral y capacidad para abordar diversas dimensiones del problema, esta opción optimizará el SSCOV permitiendo que las órdenes de compra se basen en parámetros dinámicos y mejor calculados.

7. Metodología

7.1. Recomendación

Para garantizar una implementación exitosa de la solución, se ha seleccionado la metodología de Investigación de operaciones¹⁶, la cual proporciona pasos necesarios para abordar problemas que requieren de optimización mediante la utilización de herramientas matemáticas. Los pasos a considerar son:

¹⁶ "Modelo de programación de la producción con metodología de investigación de operaciones", Flores Verdugo, 2017.

1. Formulación del problema:
 - a. Identificación de variables
 - b. Función objetivo
 - c. Restricciones
2. Construcción del modelo:
 - a. Traducción a términos matemáticos
 - b. Selección método de solución
3. Prueba del modelo:
 - a. Transferir datos al modelo
 - b. Verificación información.
4. Implementación y evaluación
 - a. Implementación práctica.
 - b. Aplicar medidas para garantizar la eficacia y la continuidad del proceso.

Por otro lado, se investigaron métodos relacionados con gestión de inventarios como lo son el EOQ y ROP, los cuales optimizan las cantidades de producto que se tienen de inventario.

EOQ

La Cantidad Económica de Pedido (EOQ, por sus siglas en inglés) es un modelo clásico en gestión de inventarios que se utiliza para determinar la cantidad óptima de unidades que una empresa debe pedir para minimizar los costos totales asociados con la gestión de inventarios. La EOQ se basa en el equilibrio entre los costos de mantener inventario y los costos de realizar pedidos.

La fórmula básica de la EOQ es la siguiente:

$$EOQ = \frac{\sqrt{2DS}}{H}$$

Donde

D: la demanda anual en unidades

S: Costo de realizar un pedido

H: Costo de mantener una unidad en inventario durante un año

ROP (Punto de reorden)

El Punto de Reorden (ROP, por sus siglas en inglés) es un concepto clave en la gestión de inventarios que se utiliza para determinar cuándo se debe realizar un nuevo pedido de productos para evitar agotamientos de inventario antes de que llegue el nuevo suministro. La

idea principal del ROP es establecer un nivel de inventario mínimo en el cual se debe realizar un nuevo pedido para evitar la falta de productos durante el tiempo de espera hasta que llegue el nuevo suministro.

La fórmula básica del Punto de Reorden es la siguiente:

$$ROP = D(LT) + SS$$

Donde:

$$SS: Z \cdot \sigma \cdot \sqrt{LT}$$

D : Demanda diaria promedio.

LT : Tiempo de entrega en días

Z : Nivel de confianza deseado.

σ : Desviación estandar de la demanda.

El Punto de Pedido (ROP) establece el nivel mínimo de inventario para realizar nuevos pedidos, ofreciendo un umbral crítico que influye en la decisión de mantener stock adicional y evitar agotamientos. Aunque métodos como EOQ y ROP no pueden aplicarse directamente a Walmart debido a que establecen una distribución normal de la demanda, proporcionan una base sólida para aproximarnos a los parámetros necesarios para calcular el stock de seguridad en el modelo de optimización.¹⁷

7.2. Modelo de optimización del stock de seguridad SSCOV

Tomando como guía la metodología propuesta, se realizó el modelo de optimización para el cálculo del SSCOV, este se muestra a continuación:

Conjuntos:

I : Conjunto de items de ACP, $i \in \{1, \dots, |I|\}$

J : Conjunto de centros de distribución de Walmart con $j \in \{1, |J|\}$

Parámetros:

D_{ij} : Pronóstico de demanda diaria del item i asociada al centro de distribución j

L_{ij} : Lead time del item i asociado al centro de distribución j

FR_i : Rango Fill Rate para el item i

ABC_{ik} : Categoriación ABC del item i en el centro de distribución j

DOH_{ij} : Días de inventario que maneja el item i en el centro de distribución j

Z : Nivel de servicio esperado

¹⁷ "Definición de stock de seguridad y punto de reorden para la compra de equipos en una empresa de servicio del sector telecomunicaciones", JA Castillo, 2014.

σ_{ij} : Desviación estándar de la demanda histórica del ítem i en el centro de distribución j

CAP_j : Capacidad de ubicaciones del centro de distribución j

UB_i : Ubicación que utiliza una unidad del ítem i

Variable de decisión:

$SSCOV_{i,j}$: Cobertura de días de forecast que determinan el stock de seguridad del ítem i en el centro de distribución j

Función Objetivo:

$$\text{MIN } \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I [SSCOV_{ij} \cdot D_{ij}]$$

Restricciones:

- (1) Garantiza que se protejan aquellos ítems con altas ventas y bajos niveles de servicio y viceversa, tomando en cuenta el inventario existente

$$SSCOV_{ij} + DOH_{ij} \geq FR_{ij} \cdot ABC_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J$$

- (2) Garantiza un nivel mínimo de stock de seguridad a través de una fórmula conocida y probada, tomando en cuenta el inventario existente

$$SSCOV_{ij} \cdot D_{ij} + DOH_{ij} \geq Z \cdot \sigma_{ij} \cdot \sqrt{L_{ij}} \quad \forall i \in I, j \in J$$

- (3) Considerar la capacidad del centro de distribución y cuanto se espera utilizar en stock de seguridad

$$\sum_{i=1}^n [SSCOV_{ij} \cdot D_{i,j} \cdot UB_i] \leq CAP_j \cdot \alpha \quad \forall i \in I, j \in J$$

- (4) Naturaleza de las variables

$$SSCOV_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J$$

Se pretende que se ejecute el modelo al inicio de cada mes, para mejorar la eficiencia en el cálculo de la cantidad de pedido estimada por GRS. La expectativa es que el modelo genere un archivo Excel compatible con GRS, conteniendo los ítems y sus respectivos SSCOV calculado, siguiendo un formato específico apto para la plataforma. Este archivo se cargaría mensualmente en GRS, proporcionando datos más precisos para la compra de productos.

7.3. Evaluación económica

En cuanto a la evaluación económica del proyecto, se construyó un flujo de caja considerando cinco meses a futuro. Para esto se consideraron los ingresos como la reducción de costos de mantenimiento de inventario y los costos de oportunidad asociados al dinero

inmovilizado. Para los costos se consideró el sueldo promedio de \$1.300.000 a un ingeniero y el costo de la licencia de Microsoft ambos por tres meses. Por último, para la inversión se consideró un computador, con su respectiva depreciación mensual, considerando una vida útil de 5 años¹⁸. A continuación, se presenta el flujo de caja:

Tabla 1: Flujo de caja

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5
Ingresos	-	\$ 47,068,196	\$ 90,879,213	\$ 138,086,798	\$ 161,793,082	\$ 193,086,299
Costos		-\$1,317,333	-\$1,317,333	-\$1,317,333	-	
Depresiacion		-\$8,000	-\$8,000	-\$8,000		
GoP ejercicio anterior						
Utilidad antes de impuesto	\$	45,742,863	\$ 89,553,880	\$ 136,761,465	\$ 161,793,082	\$ 193,086,299
Impuesto 27%		-\$12,350,573	-\$24,179,548	-\$36,925,595	-\$43,684,132	-\$52,133,301
Utilidad despues de impuesto	\$	33,392,290	\$ 65,374,332	\$ 99,835,869	\$ 118,108,950	\$ 140,952,998
Depresiacion	\$	8,000	\$ 8,000	\$ 8,000	\$ -	\$ -
Gop del ejercicio						
Inversion	-\$599,990.00					
Flujo de caja contable	-\$599,990.00	\$ 33,400,290	\$ 65,382,332	\$ 99,843,869	\$ 118,108,950	\$ 140,952,998

Tabla 1: Flujo de caja a cinco meses. *Elaboración propia*

Obtenido el flujo de caja se calculó el VAN¹⁹ del proyecto, esto utilizando el costo de capital ponderado de Walmart, el cual corresponde a un 5.55%, obteniéndose un resultado equivalente a \$447.601.973, esto indica que, en términos actuales, el proyecto genera más ingresos de los que cuesta implementarlo. Por lo que, desde una perspectiva financiera, el proyecto es rentable con una magnitud significativa.

La TIR (Tasa Interna de Retorno) es otra métrica importante para evaluar la rentabilidad de un proyecto. Para su cálculo se utilizó la herramienta de Excel, obteniéndose una TIR equivalente a 5661%, esto indica que la tasa de rendimiento del proyecto es extremadamente alta y esto sugiere que el proyecto tiene el potencial de generar rendimientos sustanciales y competitivos en comparación con su inversión inicial.

El VAN positivo, junto con la excepcional TIR, sugiere que el proyecto no solo es económicamente viable, sino que también ofrece una considerable rentabilidad. La reducción en los costos de mantenimiento de inventario y la optimización de los costos de oportunidad juegan un papel fundamental en estos resultados. La inversión en recursos, como el nuevo computador, se justifica claramente por los beneficios financieros proyectados.

¹⁸ Detalle en 12.3 Anexo D: Elementos flujo de caja

¹⁹ Cálculo del VAN en Anexo 12.4 E: Calculo VAN

7.4. Nuevo proceso

La solución modifica parte del subproceso relacionado con la generación de órdenes de compra, específicamente, el cálculo que realiza GRS para emitir un pedido.

El método actual se muestra a continuación en el diagrama 3, y consiste en que, al crearse un ítem, se le asigna un SSCOV fijo que puede modificarse manualmente en caso de ser necesario.

Diagrama 4: Proceso actual análisis GRS stock de seguridad

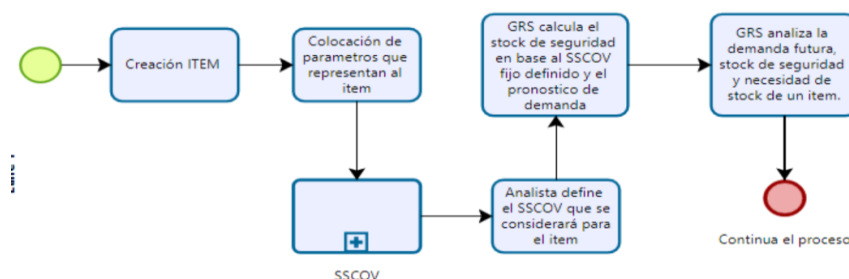


Diagrama 4: Proceso actual del análisis que realiza GRS para obtener el stock de seguridad y crear órdenes de compra. **Elaboración propia**

El nuevo proceso modifica el hecho de tener un SSCOV fijo, volviéndolo dinámico al calcularlo mensualmente en base a parámetros definidos, este cambio se muestra en el diagrama 4 a continuación, en donde dentro de los círculos rojos se encuentran los pasos agregados al proceso.

Diagrama 5: Cambio de proceso análisis GRS stock de seguridad

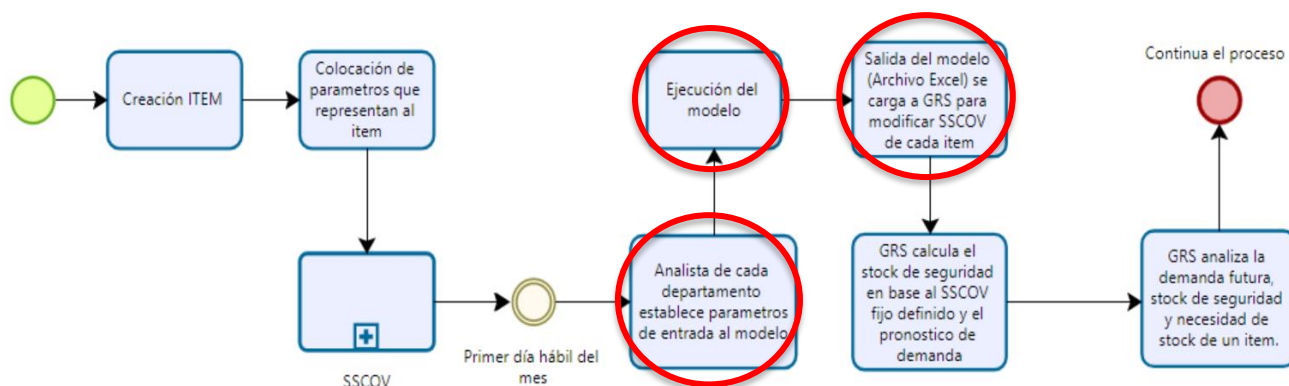


Diagrama 5: Cambio realizado al subproceso de cálculo del stock de seguridad por parte de GRS. **Elaboración propia.**

7.5. Riesgos de implementación

La implementación de cualquier solución operativa conlleva intrínsecamente la posibilidad de enfrentar diversos riesgos. En el contexto de la propuesta de optimización del stock de seguridad a través del dinamismo del SSCOV, es imperativo comprender y abordar los posibles desafíos que podrían surgir durante la ejecución.

La siguiente matriz de riesgos²⁰ ha sido diseñada para identificar, evaluar y clasificar los riesgos potenciales asociados con la optimización del inventario. Cada riesgo ha sido meticulosamente evaluado en términos de su probabilidad de ocurrencia y el impacto que podría tener en el éxito de la implementación. La visualización gráfica de la matriz proporcionará una visión clara de la exposición a riesgos y ayudará a formular estrategias eficaces de mitigación y contingencia.

Riesgo	Probabilidad (P)	Impacto (I)	Nivel de riesgo (E = P x I)	Estrategia de Mitigación
Complejidad de entendimiento del Modelo	Moderada (3)	Mayor (4)	Tolerable (12)	Proporcionar capacitación adicional al personal clave. Asegurar documentación detallada. Realizar pruebas piloto para identificar y abordar posibles complicaciones.
Resistencia al Cambio	Casi seguro (5)	Menor (2)	Tolerable (10)	Realizar sesiones de sensibilización y comunicación efectiva sobre los beneficios del nuevo modelo. Involucrar al personal desde el principio.
Falta de Datos Precisos	Moderada (3)	Mayor (4)	Tolerable (16)	Mejorar los procesos de recopilación de datos. Implementar sistemas de monitoreo continuo, verificación y validación de datos. Establecer protocolos para la corrección rápida de datos incorrectos.
Variabilidad en la Demanda	Casi seguro (5)	Significativo (3)	Tolerable (15)	Utilizar técnicas de análisis de escenarios. Mantener flexibilidad en el modelo para ajustes. Colaborar con equipos de pronóstico para obtener información actualizada.
Falla Tecnológica	Improbable (2)	Severo (5)	Tolerable (10)	Establecer protocolos de respaldo y recuperación y un plan de contingencia para abordar rápidamente cualquier problema tecnológico. Mantenimiento preventivo y pruebas periódicas.
Error en Parámetros del Modelo	Moderada (3)	Severo (5)	Tolerable (15)	Implementar validaciones y controles de calidad en la entrada de datos. Auditorías periódicas del modelo.

La identificación de riesgos críticos asociados a la implementación del modelo de optimización del stock de seguridad ha sido acompañada de estrategias de mitigación sólidas. Estas medidas proactivas no solo reducen la probabilidad de ocurrencia de los riesgos, sino que también fortalecen la capacidad de adaptación de la organización ante cambios, garantizando una transición exitosa hacia un sistema más eficiente.

²⁰ Detalles en 12.5 Anexo F: Matriz de riesgo

8. Desarrollo e implementación

8.1. Carta Gantt

Para la generación de un plan de implementación, se construyó una carta Gantt detallada a nivel semanal, la cual se basa en la metodología de investigación de operaciones propuesta.

Diagrama 6: Carta Gantt

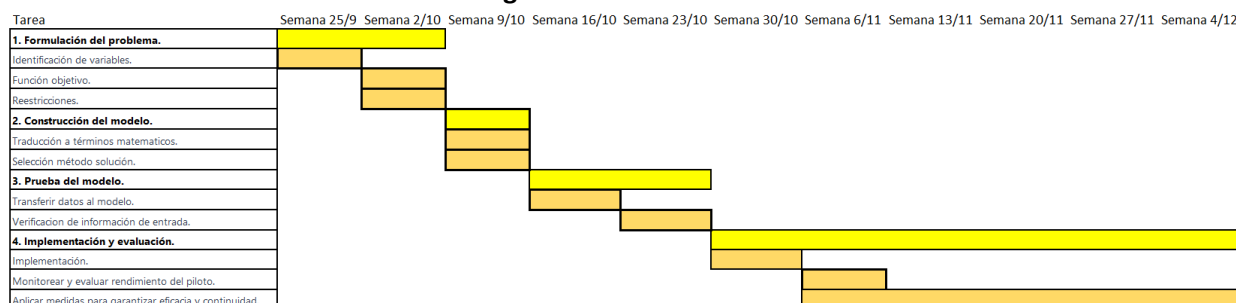


Diagrama 6: Carta Gantt detallada a nivel semana. Elaboración propia.

8.2. Plan de implementación

8.2.1. Formulación del problema

a. Variables y parámetros

Para el primer paso de la metodología se definieron los parámetros y variables a considerar en el modelo en desarrollo. Se decidió la utilización de una única variable, la cual consiste en el SSCOV de cada ítem asociado a un centro de distribución.

En cuanto a los parámetros, se tomaron en cuenta todos los elementos que podrían ser importantes a la hora de calcular el stock de seguridad, analizando formulas y modelos existentes como el ROP y el EOQ, como también parámetros específicamente necesarios para la empresa. De esta forma se plantearon 9 parámetros. Primero, se definieron los parámetros más directos, como la demanda pronosticada, el lead time, la capacidad del centro de distribución, las ubicaciones utilizadas por una unidad de producto, la desviación estándar de la demanda y los días de inventario.

Para la inclusión de las ventas se realizó una clasificación ABC²¹ con el fin de otorgar ciertos valores diferenciales a los productos dependiendo de la importancia en nivel de venta que poseen. La clasificación A representa el 15% de los ítems que en totalidad generan el 80% de las ventas y tiene el valor 1.5, luego la clasificación B representa el otro 30% de los ítems que generan el 15% de las ventas y tiene el valor 1 y por último la clasificación C representa el 55% de los productos con menor venta y tiene el valor 0.5. Para esta clasificación se utilizaron las ventas anuales de los ítems asociados a cada centro de distribución.

Así mismo, se generaron parámetros para poder clasificar los productos con relación al nivel de servicio del proveedor, para esto, se obtuvieron tres promedios de nivel de servicio correspondientes a 12 semanas, luego se otorgó un 1 si la semana tenía un nivel de servicio mayor a 80% para el ítem y un cero si no y se realizó un promedio ponderado de estos tres valores, otorgándole más valor al promedio de la semana más próxima y menos al de la semana más lejana²². Luego se le otorgó un valor 1 a aquellos ítems con una media ponderada mayor a 80%, un 2 a los que se encontraban entre 50% y 80%, y un 3 a los cuales presentaban una media menor a 50%.

b. Función Objetivo

Ya obtenidos los parámetros se construyó la función objetivo, para esta se decidió buscar minimizar el stock de seguridad, el cual está determinado por el SSCOV multiplicado por el pronóstico de demanda diario.

c. Restricciones

En primer lugar, se decidió crear una restricción de seguridad, esto es, que aportara un nivel mínimo en el que se debe situar el SSCOV para asegurar la satisfacción de la demanda, para ello se tomó la fórmula de stock de seguridad del modelo de punto de reorden, con un nivel de servicio del 90% (definido por el área de ACP de Walmart), debido a que es una fórmula que posee una investigación previa y aporta datos importantes, en el cálculo del stock de seguridad.

²¹ Detalle en 12.6 Anexo G: Clasificación ABC.

²² Detalle en 12.7 Anexo H: Clasificación nivel de servicio

Se creo además una restricción que permitiera generar una barrera superior al SSCOV, esta corresponde a la restricción de capacidad de almacenamiento de cada centro de distribución. Por último, se construyó una restricción que permitiera proteger a los ítems que en conjunto tuvieran altas ventas y bajo nivel de servicio, esto a través de la multiplicación del parámetro obtenido de la clasificación ABC y de la clasificación del nivel de servicio del proveedor²³.

8.2.2. Construcción del modelo

Para la construcción del modelo se tomó todo lo definido en la etapa anterior y se escribió de forma matemática. Ya teniendo escrito matemáticamente se hicieron los últimos ajustes, entre ellos, se decidió que se debía agregar al modelo el stock existente para que este fuera tomado en cuenta a la hora de calcular la variable de decisión, por lo que a dos de las restricciones se les agregaron los días de inventario existentes de cada ítem al inicio del mes.

Luego, se investigaron los diferentes métodos posibles para resolver el modelo, llegando a la conclusión que el lenguaje AMPL es la mejor opción para dicha tarea, debido a su lenguaje simple, su plataforma amigable y accesible y su capacidad conocida de resolver problemas de optimización. Junto con esto se decidió utilizar como solucionador la herramienta CPLEX por su eficiencia en la resolución de modelos de programación lineal. Con estas decisiones tomadas, se procedió a programar el modelo matemático en la plataforma escogida en un archivo .mod²⁴

8.2.3. Prueba del modelo

Ya programado el modelo, se puso a prueba su funcionamiento ingresando valores para cada parámetro dentro de un archivo .dat, así se pudo comprobar que este arrojaba resultados para la variable de decisión y que estos resultados eran coherentes. Luego se modificó para hacer que el modelo fuera capaz de leer archivos Excel con los parámetros de entrada y reescribir los resultados en un archivo .csv de salida. Ya comprobado el funcionamiento, se reunieron los parámetros de cada centro de distribución de 7 mil ítems de ACP y se crearon las matrices correspondientes de entrada al modelo. Se ingresaron primero mil

²³ Detalle en 12.8 Anexo I: Matriz resultados multiplicación

²⁴ Detalle en 12.9 Anexo J: Modelo de optimización en AMPL

datos, para evaluar el desempeño, para los cuales el modelo arrojó satisfactoriamente los SSCOV de cada ítem en cada centro de distribución. Luego se ingresaron los 7 mil datos y el modelo fue capaz de encontrar una solución para cada uno de ellos²⁵.

8.2.4. Implementación y evaluación

Para la implementación definitiva de la solución, se cargó el archivo de salida del modelo a la plataforma GRS. Ya cargados, los cambios se visualizan en la plataforma al día siguiente, y las compras comienzan a realizarse tomando en cuenta este nuevo parámetro. El cambio en la plataforma fue exitoso y comenzó la etapa de monitoreo, en el cual día a día se revisaron las órdenes de compra generadas de los ítems más importantes, para evaluar que se estuvieran generando correctamente y concorde al cambio realizado. Tras una semana completa de evaluación, las órdenes de compra se generaron de manera precisa y no se generaron problemas relacionados al cambio de los días de cobertura. Luego de asegurarse del éxito de la implementación, se capacitó a un analista de cada área de ACP del área de fulfillment para que entendiera el modelo, su ejecución y posterior carga a GRS, esto con el fin de asegurar la continuidad de la solución.

9. Resultados

Los resultados de SSCOV obtenidos tras ejecutar e implementar el modelo apuntaron a SSCOV mayoritariamente más bajos de los que estaban fijados inicialmente, a continuación, se muestra el resumen de estos resultados:

Tabla 2: Comparación SSCOV.

	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO
SSCOV BASE	9	0	4.48
SSCOV MODELO	9.6	0	1.38

Tabla 2: Comparación entre SSCOV base y del modelo.

²⁵ Detalle en Anexo 12.10 K: Resultados modelo

Además, de la totalidad de los ítems, un 91% obtuvo un SCCOV menor con el modelo, siendo la reducción promedio de 3.1 días.

9.1. Impacto métrica primaria

Tras la implementación de la solución, se pueden comenzar a apreciar la tendencia de la métrica primaria cantidad de ubicaciones utilizadas por cajas inmovilizadas en los cd 6009 y 6020. A continuación, se presenta un gráfico evolutivo de la métrica primaria:

Gráfico 7: Evolución métrica primaria

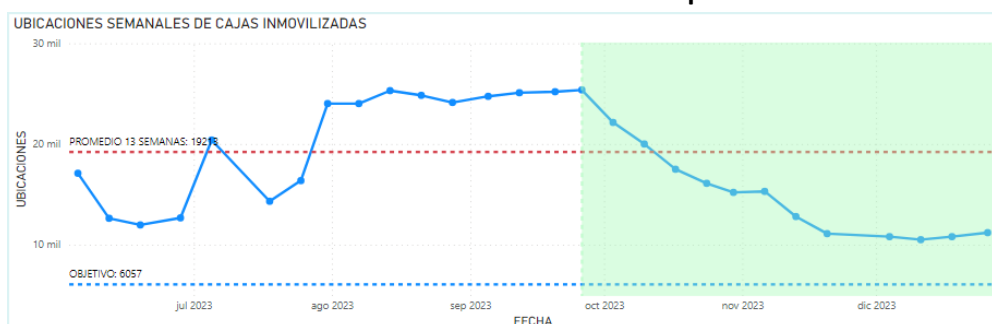


Gráfico 7: Evolución de la métrica primaria de ubicaciones, desde el inicio de la pasantía en julio hasta la semana del 26/12, en verde situación luego de la implementación. **Elaboración propia**

Del gráfico 7 se extrae que desde que se comenzaron a modificar los SSCOV, la cantidad de ubicaciones causadas por cajas inmovilizadas ha disminuido considerablemente, disminuyendo en un 56% desde la fecha antes de la implementación hasta la última fecha en medición y un 42% con respecto al promedio que se venía manejando antes de la implementación. Esto quiere decir que, de las 19.213 ubicaciones promedio que se tenían en el análisis del problema, para la última fecha en medición se manejaron 11.200 ubicaciones totales, esto entre el cambio del SSCOV y los empujes manuales generados.

Notamos que para las últimas dos semanas del mes de diciembre se proyecta una leve alza de las ubicaciones inmovilizadas. Este aumento esta explicado por las festividades de fin de año, que causan que los pronósticos de demanda sean elevados, modificándose así el stock de seguridad de acuerdo con los parámetros de demanda y generándose compras de volúmenes mayores de surtido.

Se realizó una prueba T Test con un nivel de significancia de 0.05 para poder demostrar que la cantidad de ubicaciones generadas luego de haber aplicado el modelo fueron significativamente diferentes a las que se tenían antes de aplicar la solución, el resultado arrojó un valor p de 0.012 y un valor t de 2.75 lo que sugiere

que hay evidencia estadística suficiente para decir que hay una diferencia significativa entre las dos muestras y la variación observada en los datos no se debe simplemente al azar.²⁶

En cuanto a los días de inventario, de los 3.15 días de inventario promedio que se manejaban en los centros de distribución antes de la solución, se pasó a manejar 1.73 días de inventario, lo que corresponde a una disminución del 45%.

Adicionalmente, se realizó una proyección estimada de las ubicaciones inmovilizadas a 9 semanas (enero y febrero), considerando las ubicaciones que se manejan a finales de diciembre y un forecast accuracy histórico de 68.7%. Para ello se obtuvieron parámetros futuros de entrada al modelo para estimar los SSCOV que entregaría el modelo y calcular su efecto en la cantidad de cajas inmovilizadas. Esto se realizó a través de los datos de demanda futura que posee Walmart a muy largo plazo, estimaciones de FR y ventas y manteniendo parámetros como desviación de la demanda y niveles de servicio (Z).

Con esta proyección de SSCOV se calculó el stock de seguridad, que corresponde al SSCOV multiplicado por el pronóstico de demanda diario y se calculó el remanente del stock dado el cálculo que realiza GRS para realizar las compras²⁷ y el recship de los próximos 28 días. Este remanente de stock corresponde a cajas que, de acuerdo con el recship de salida del centro de distribución, estarán más de un mes utilizando una ubicación, por lo que conforman parte de las ubicaciones inmovilizadas del ítem. Calculados los remanentes de stock para cada ítem en cada mes, se convirtió este stock en ubicaciones inmovilizadas, utilizando la formula (3). Con esto se consideró la reducción de ubicaciones inmovilizadas debido al sobre stock y se proyectaron resultados considerando, además, los 8.000 empujes de ubicaciones promedio que se realizan semanalmente en ACP, a continuación, se muestran los resultados de esta proyección:

²⁶ Detalles en 12.11 Anexo L: Resultados T test

²⁷ GRS realiza la compra de acuerdo con el stock de seguridad más el pronóstico de demanda. El remanente de stock consiste en la suma del forecast con el stock de seguridad menos las ventas efectivas.

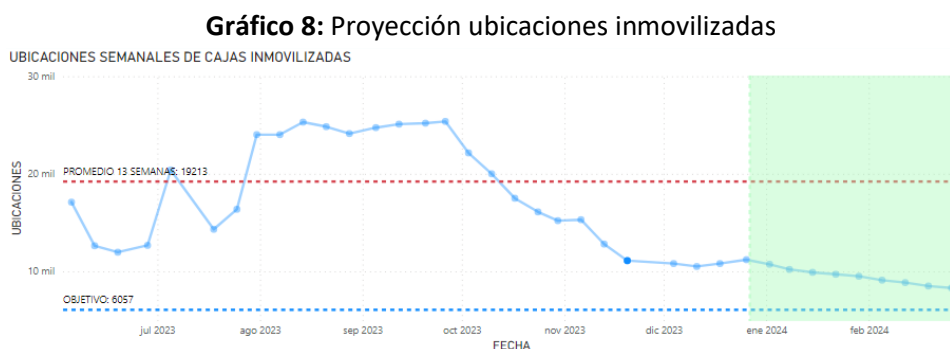


Gráfico 8: Proyección a 2 meses en adelante obtenido de pronósticos de demanda otorgados por Walmart y resultados del modelo. **Elaboración propia.**

Para los meses de enero y febrero se espera una disminución de ubicaciones, llegando a alcanzar las 8.300 ubicaciones inmovilizadas lo que corresponde a una reducción de 57% con respecto al promedio antes de implementación y de un 67% con respecto a la última fecha antes de la implementación. Cabe destacar que la disminución de ubicaciones inmovilizadas a medida que pasa el tiempo es cada vez menos abrupta, esto es debido a que las cajas por la causa atacada están siendo neutralizadas pero las que surgen por las otras causas siguen generándose. Se espera que en los meses siguientes se presente una disminución continua pero cada vez más lenta de estas cajas, con posibles aumentos en meses estivales, hasta que las ubicaciones acumuladas sumadas a las que se generen sean menores que a las que se les da salida, logrando neutralizar la cantidad de cajas y ubicaciones utilizadas por este motivo. Considerando un aumento mensual histórico promedio del 18% de ubicaciones/semana, se esperaría alcanzar el objetivo de llegar a manejar alrededor de 6 mil ubicaciones, tras 6 meses de implementación, considerando las acumulaciones generadas mes a mes, los empujes semanales, las reducciones del sobre stock mensual y la cantidad de meses que la proyección arrojó menores ubicaciones que las empujadas manualmente²⁸.

9.2. Impacto económico

En cuanto al impacto económico generado por la solución, este consta de las dos dimensiones ya expuestas en el punto 2.5, y se calcularon considerando la última fecha en medición tras la implementación, correspondiente al mes de diciembre. Con las 7.317 ubicaciones/semana que se espera que se manejen en promedio, se tiene

²⁸ Todos estos datos están sujetos a variaciones, se tomaron promedios históricos para el cálculo.

un costo de mantenimiento de inventario de \$147.150.000 que anualizado corresponde a \$1.765.800.000, este costo significa un ahorro de \$1.692.540.000

Estas ubicaciones corresponden a 441.765 cajas inmovilizadas las cuales tienen un costo de oportunidad de \$3.668.858, este costo significa un ahorro de \$3.961.692

Los costos anuales totales corresponden a \$1.769.468.858 (suma de ambos costos) que comparado con los costos anualizados antes de la implementación de la solución corresponden a una disminución del 49% del costo, generándose un ahorro por la solución correspondiente a \$1.696.361.692 anualizados.

9.3. Otros impactos

La evaluación de impactos adicionales proporciona una visión holística de las implicaciones que puede tener la solución en diversos aspectos. Más allá de la eficiencia operativa y la rentabilidad financiera, esta evaluación busca identificar cómo la implementación de la solución puede afectar en otras áreas relevantes.

9.3.1. Ético

El modelo se proporciona como una herramienta que facilita y mejora la eficiencia de inventario, potenciando la toma de decisiones informada y evitando excesos y escaseces de inventario, minimizando el riesgo de pérdidas económicas asociadas a malas prácticas. Además, se prioriza la transparencia en la cadena de suministro, sin sustituir roles laborales que motiven al desempleo y gestionando un compromiso con la privacidad y seguridad de los datos.

9.3.2. Medio ambiente

Un gran impacto que posee la implementación de la solución tiene que ver con el medio ambiente. La gestión eficiente de existencias en los centros de distribución y su consecuente disminución de cajas inmovilizadas reduce los desperdicios ocasionados por productos mermados, generando cantidades de inventario más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

9.3.3. Colaboradores

La solución significaría una disminución de la presión operativa causada por procesos ineficientes para los trabajadores de los centros de distribución, esto es,

tener que empujar cajas inmovilizadas a las tiendas de forma extraordinaria a las labores que realizan regularmente.

Además, aumentaría la productividad de los analistas, reduciendo el tiempo en el que deben digitar manualmente la distribución de las cajas inmovilizadas a tienda.

10. Conclusiones

El proyecto ha generado un impacto significativo al mejorar el índice SSCOV, permitiendo una gestión más dinámica de las órdenes de compra. Esta optimización ha llevado a realizar compras basadas en parámetros más precisos, evitando la adquisición de unidades en exceso y reduciendo así el sobre stock que permanece por más de treinta días en el inventario. La adaptabilidad del modelo a las fluctuaciones estacionales, a los cambios en los pronósticos de demanda y a parámetros de venta y nivel de servicio, ha mejorado la precisión de las decisiones de compra, minimizando la acumulación de cajas y ubicaciones inmovilizadas.

El estudiante ha contribuido significativamente aplicando conocimientos adquiridos en la universidad en áreas clave como gestión de operaciones, investigación de operaciones y optimización. La habilidad para modelar y resolver problemas ha sido esencial en el desarrollo de un modelo matemático que aborda la problemática de las cajas inmovilizadas en los centros de distribución de Walmart, considerando parámetros que van más allá de los obtenidos directamente. Además, la capacidad para trabajar con datos históricos y futuros para la toma de decisiones ha demostrado la integración exitosa de la teoría académica en un entorno operativo real.

Tras tres meses desde la implementación, no se ha llegado al objetivo establecido, pero se puede apreciar de la proyección realizada, que se espera llegar a este pasado 6 meses de implementación. Es crucial tener en cuenta que la mejora de parámetros ligados a la cadena de suministro es un proceso continuo que puede requerir ajustes y refinamientos adicionales a medida que se recopilan más datos y se enfrentan a diferentes escenarios operativos. En consecuencia, la evaluación completa del impacto y el logro de los objetivos a largo plazo debe realizarse a medida que se acumula más información y se implementan ajustes adicionales en el modelo.

11.Referencias

- <https://www.walmartchile.cl/>
- Bases de datos Walmart Chile (sandbox)
- Referencia: Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies.
- Referencia: Correll, N., et al. (2016). Introduction to Autonomous Robots.
- Referencia: Siciliano, B., & Sciavicco, L. (2008). Robotics: Modelling, Planning and Control.
- Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications.
- Allen, T. T., & Olivo, C. T. (1982). Warehouse Management and Inventory Control.
- Coppola, G. (2003). Implementing Robotic Systems
- Winfield, A. (2012). Robotics: A Very Short Introduction.
- Müller, A. C., & Guido, S. (2016). Introduction to Machine Learning with Python.
- Goodfellow, I., et al. (2016). Deep Learning.
- Bozarth, C., & Handfield, R. (2016). Introduction to Operations and Supply Chain Management.
- Flores Verdugo. (2017). Modelo de programación de la producción con metodología de investigación de operaciones.
- JA Castillo. (2014). Definición de stock de seguridad y punto de reorden para la compra de equipos en una empresa de servicio del sector telecomunicaciones.
- Juan Leyton Valdes y Mauricio Jara Bertin. (2015). Valoración por flujos Walmart Chile.

12. Anexo

12.1. Anexo A: Prueba de normalidad

```
import pandas as pd
from scipy import stats
datos = pd.read_csv('DATOS.csv')
valores = datos['UBICACIONES']
stat, p = stats.shapiro(valores)
print(f'Estadística de prueba (W): {stat}')
print(f'Valor p: {p}')
```

Estadística de prueba (W): 0.8779799342155457
Valor p: 0.06696203351020813

12.2. Anexo B: Definición causas.

- **Directo con stock:**

Esto corresponde a cajas que debieron ir directamente a las tiendas y por algún motivo llegaron a un centro de distribución, como no corresponde que se encuentre en el centro, esta caja no va a salir de manera automática en el flujo regular.

- **Deleteado/inactivo:**

Cuando un producto va a dejar de formar parte del surtido de Walmart, este pasa a ser inactivo y luego deleteado, antes de esto se debe catalogar como un producto “cancel when out”, existen casos en los que este paso se omite, quedando inmediatamente inactivos, y al quedar stock pendiente en el centro de distribución este no sale por el flujo automático ya que el sistema no lo considera.

- **No reabastecible:**

Corresponde a productos que no se encuentran dentro del surtido continuo de Walmart, si no que aparecen en ciertas fechas y/o campañas por lo que el sistema los reconoce por un periodo de tiempo delimitado. Cuando luego de pasado ese tiempo queda stock del producto en el centro de distribución, este stock quedará inmovilizado al no encontrarse dentro del empuje automático hacia tiendas.

- **Mal alineado:**

Cada centro de distribución posee una alineación que lo caracteriza y que permite que el sistema detecte en qué centro se encuentra un producto y lo envíe desde su origen

a las tiendas. Cuando un producto se encuentra mal alineado, el sistema reconoce que se encuentra en un lugar diferente al que en realidad se encuentra, generándose que esa caja no pueda salir de forma automática del centro de distribución.

- **Ítem con CWO:**

Cuando un ítem va a pasar a ser inactivo, este debe pasar primero por una etapa llamada “cancel when out”, esta etapa consiste en que debe salir todo el stock de ese producto de los centros de distribución para poder inactivar el ítem. Si esta transición es lenta, se generan cajas que permanecen más de 30 días de inventario en el centro de distribución, catalogándolas como inmovilizadas.

- **Stock > Recship:**

El sistema libera cajas hacia tienda en base al recship de venta de 28 días, el cual se entiende como la estimación de ventas futuras para cada producto, cuando existe mayor cantidad de cajas de las que se estima que se venderán, estas quedan en el centro de distribución con días de inventario mayor a 30, catalogándose como inmovilizadas.

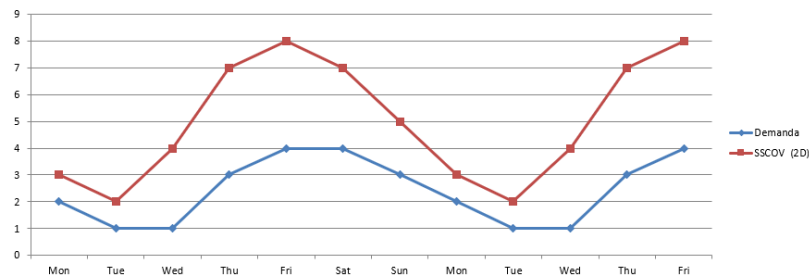
- **Otro:**

Son cajas que llevan más de 30 días de inventario en el centro de distribución y no se tiene una razón clara de porqué es así, además de esto son cajas que no cuentan con un recship de ventas asociado.

12.3. Anexo C: SSCOV

Walmart utiliza un indicador llamado SSCOV para determinar el stock de seguridad de cada SKU, esto es, de cada ítem asociado a una tienda específica. Este consiste en el número de días hacia adelante que se consideran para cubrir la variación de la demanda. SSCOV calcula el stock de seguridad basado en el pronóstico de demanda futura. Comenzando el día de hoy SSCOV mira los días hacia adelante seteados para el ítem y utiliza la demanda de esos días como el valor del stock de seguridad. A continuación, se ejemplifica el funcionamiento de este indicador.

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri
Demanda	2	1	1	3	4	4	3	2	1	1	3	4
SSCOV (2D)	3	2	4	7	8	7	5	3	2	4	7	8



12.4. Anexo D: Elementos flujo de caja

12.4.1. Ingresos

DISMINUCION DE COSTOS (INGRESOS)

Indicador	Con solución	Sin solución	Beneficio
Costo Ubicaciones			
MES 1	\$ 226,950,000	\$ 272,874,000	\$ 45,924,000
MES 2	\$ 196,000,000	\$ 284,670,000	\$ 88,670,000
MES 3	\$ 162,375,000	\$ 297,105,000	\$ 134,730,000
MES 4	\$ 150,090,000	\$ 307,950,000	\$ 157,860,000
MES 5	\$ 130,312,500	\$ 318,705,000	\$ 188,392,500
Costo de oportunidad (dinero inmovilizado)			
MES 1			\$ 1,144,196
MES 2			\$ 2,209,213
MES 3			\$ 3,356,798
MES 4			\$ 3,933,082
MES 5			\$ 4,693,799

12.4.2. Costos

Costo	Precio	Meses
Ingeniero	\$ 1,300,000	3
Licencia Microsoft	\$ 17,333	3

12.4.3. Inversión

INVERSIÓN	Precio
Computador	\$ 599,990

12.4.4. Depreciación

DEPRECIACIÓN	Valor residual	Depreciación
Computador	\$ 1,439,976	\$ 7,999.87

12.5. Anexo E: Calculo VAN

El van se calculó a través de la formula a continuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^5 \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

CF_t : Flujo de caja neto en el periodo t

r : Costo de capital de Walmart (5.55%)

12.6. Anexo F: Matriz de riesgo

La matriz de riesgo fue generada a través de una matriz de riesgo base 5x5 que se muestra a continuación:

	Insignificante 1	Menor 2	Significativo 3	Mayor 4	Severo 5
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”

En donde las probabilidades de ocurrencia se clasifican en:

1. **Raro**: Es poco probable que ocurra y/o tiene consecuencias menores o insignificantes
2. **Improbable**: Es posible que ocurra y/o que tenga consecuencias moderadas
3. **Moderado**: Es probable que ocurra y/o tenga consecuencias graves
4. **Probable**: Es casi seguro que ocurra y/o que tenga consecuencias importantes
5. **Casi seguro**: Es seguro que se produzca y/o tenga consecuencias importantes

Y los impactos se clasifican en:

1. **Insignificante**
2. **Menor**
3. **Significativo**
4. **Mayor**
5. **Grave**

Por último, el nivel de riesgo se calcula a través de la multiplicación entre la probabilidad y el impacto, clasificándose de la siguiente manera:

- **1-4: Aceptable:** Puede que no sea necesaria ninguna otra acción y se recomienda mantener las medidas de control
- **5-9: Adecuado** – Puede ser considerado para un análisis posterior
- **10-16: Tolerable** – Debe ser revisado oportunamente para llevar a cabo estrategias de mejora
- **17-25: Inaceptable** – Debe implementar el cese de actividades y aprobar para una acción inmediata

12.7. Anexo G: Clasificación ABC

Clasificación	Cantidad % de productos	% Ventas del total
A	15%	80%
B	30%	15%
C	55%	5%

12.8. Anexo H: Clasificación nivel de servicio

A continuación, se muestra un extracto del cálculo del parámetro de Fill Rate, en donde la media ponderada es de 10% para las tres semanas más lejanas, 30% para las del medio y 60% para las 3 más próxima.

PROM 1	PROM 2	PROM 3	10%	30%	60%	PROM	PARAMETRO
79%	86%	94%	0	1	1	0.9	1
100%	100%	100%	1	1	1	1	1
100%	100%	100%	1	1	1	1	1
25%	100%	100%	0	1	1	0.9	1
100%	100%	100%	1	1	1	1	1
100%	100%	100%	1	1	1	1	1
93%	100%	100%	1	1	1	1	1
13% SC		70%	0	SC	0	0	3
31%	90%	94%	0	1	1	0.9	1
49%	86%	59%	0	1	0	0.3	3
75%	92%	55%	0	1	0	0.3	3
63%	88%	82%	0	1	1	0.9	1
100%	99%	92%	1	1	1	1	1
100%	63%	100%	1	0	1	0.7	2
100%	99%	100%	1	1	1	1	1
75%	67%	92%	0	0	1	0.6	2

12.9. Anexo I: Matriz resultados multiplicación

A continuación, se muestran todas las posibles combinaciones de la multiplicación entre el parámetro ABC y el parámetro de Fill Rate, en donde se puede notar que entre mayor cantidad de venta y menor Fill Rate, el numero crece.

FR/ABC	A (1.5)	B (1)	C (0.5)
[0%-50%] (3)	2.25	1.5	0.75
[50%-80%](2)	1.5	1	0.5
[80%-100%] (1)	0.75	0.5	0.25

12.10. Anexo J: Modelo de optimización en AMPL

```
#Conjuntos
set item;
set cd;
#Parametros
param D{item,cd};
param L{item,cd};
param RF{item};
param ABC{item,cd};
param CAP{cd};
param UB{item};
param dias_mes;
param Z;
param DOH{item,cd};
param desv{item,cd};
#Variable de decisión
var SSCOV{item,cd}>=0;
#Función objetivo
minimize SS: sum{j in cd,i in item}(SSCOV[i,j]*(D[i,j]/dias_mes));

#Restricciones
subject to FactorSeguridad {i in item, j in cd}:SSCOV[i, j]+(DOH[i,j]) >= RF[i] * ABC[i, j];
subject to Capacidad{j in cd, i in item}:SSCOV[i, j] * (D[i, j]/dias_mes) * UB[i] <= CAP[j];
subject to SEGURIDAD{i in item, j in cd}: SSCOV[i,j]*(D[i,j])+ (DOH[i,j])>= Z*desv[i,j]*sqrt(L[i,j])
```

12.11. Anexo K: Resultados modelo

A continuación, se muestran las líneas de código utilizadas para resolver el modelo y generar un archivo de salida:

```
ampl: option solver cplex;

ampl: model MODELO_SS.mod;

ampl: data DATOS_SS.dat;

ampl: solve;

ampl: param outFile, symbolic;

ampl: outFile:= "Resultados_SSCOV.csv";
```

```

ampl: open outFile;

ampl: printf(outFile, "item,cd,SSCOV\n");

ampl: for {i in item, j in cd}
    {printf (outFile, %d,%d,%.2f\n",i,j,SSCOV[i,j]);}

ampl: close Outfile;

```

El modelo al encontrar resultados reescribe estos sobre un archivo Excel definido, el cual tiene en su interior el template requerido por GRS. A continuación, se muestra un extracto del archivo de salida.

item	cd	SSCOV	TEMPLATE
495805	6009	4.5	K2_WMT_6009_4.5
495805	6020	1.5	K2_WMT_6020_1.5
544690	6009	1.46141	K2_WMT_6009_1.46141
544690	6020	3	K2_WMT_6020_3
114562	6009	3	K2_WMT_6009_3
114562	6020	3	K2_WMT_6020_3
878377	6009	3	K2_WMT_6009_3
878377	6020	2	K2_WMT_6020_2
878417	6009	1.5	K2_WMT_6009_1.5
878417	6020	0.5	K2_WMT_6020_0.5
869605	6009	0.5	K2_WMT_6009_0.5
869605	6020	0.997901	K2_WMT_6020_0.997901
424727	6009	1	K2_WMT_6009_1
424727	6020	1.5	K2_WMT_6020_1.5

12.12. Anexo L: Resultados T test

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

# Cargar datos desde un archivo Excel
excel_file = 'COMPARACION_UBI.xlsx' # Cambia la ruta y nombre del archivo
df = pd.read_excel(excel_file)

# Asignar columnas de interés
column_sample1 = 'UBICACIONES_ANTES'
column_sample2 = 'UBICACIONES_MODELO'

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

from scipy.stats import ttest_ind
import numpy as np

# datos_antes y datos_despues son arrays con las mediciones antes y después, respectivamente

# Elimina los valores faltantes antes de realizar la prueba
datos_antes_limpio = sample1[~np.isnan(sample1)]
datos_despues_limpio = sample2[~np.isnan(sample2)]

# Realiza la prueba de Mann-Whitney U con los datos limpios
resultado = ttest_ind(datos_antes_limpio, datos_despues_limpio)

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

# Compara el valor p con un umbral de significancia (por ejemplo, 0.05)
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): 2.7599535951976337
Valor p: 0.012895432899163317
Se rechaza la hipótesis nula.