

Mejora en la logística de abastecimiento,
almacenamiento y distribución de los almacenes
de una empresa de pinturería



Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial

Autores: Massabie, Germán – massabie3@gmail.com

Pietrocola, Nicolás J. – nicojpietro@gmail.com

Departamento de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata, 21 mayo de 2019



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

El diseño de tapa contiene el logos comerciales de la empresa N 1 en pinturerías., con su consentimiento, en el marco del “Convenio Específico de Cooperación entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata y la empresa N1 en Pinturerías S.A.” OCA N° 734/19.



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



Mejora en la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes de una empresa de pinturería

Autores: Massabie, Germán – massabie3@gmail.com

Pietrocola, Nicolás J. – nicojpietro@gmail.com

Director: Esp. Ing. Nicolao García, José Ignacio

CoDirector: Mg. Ing. Morcela, Oscar Antonio

Evaluadores: Ing. Esteban, Alejandra M.

Mg. Ing. Lopez, Alberto M.

Índice General

Índice General	ii
Índice de Tablas	v
Índice de Gráficos.....	vi
Tabla de siglas	vii
Resumen	viii
Palabras Clave	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos.....	2
2. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL	3
2.1 Logística como parte de la cadena de suministros	3
2.2 Distribución	4
2.2.1 Problema de ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos	4
2.2.2 Formulación matemática del problema	5
2.2.3 Resolución de MDVRP	7
2.3 Inventarios	9
2.3.1 Costos de inventarios	10
2.3.2 Clasificación ABC de productos	10
2.3.3 Modelos de gestión de inventarios.....	11
2.3.4 Métricas para el control de inventarios.....	14
2.4 Herramientas estadísticas para el análisis de datos.....	15
2.4.1 Prueba de Grubbs para detectar valores atípicos	15
2.4.2 Coeficiente de variación.....	16
2.5 Gestión de la Innovación Tecnológica.....	17
2.5.1 Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT)	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Utilización del software empresarial	21

3.2	Visita a depósitos y contacto con encargados de logística	21
3.3	Herramienta <i>OR-Tools</i> para resolver problema MDVRP	22
3.4	Obtención de coordenadas de sucursales con Google Maps	23
3.5	Obtención de distancias con <i>Google Distance-Matrix API</i>	23
4.	DESARROLLO.....	25
4.1	Descripción de la organización.....	25
4.1.1	Organigrama.....	25
4.2	Análisis de la cartera de productos y clasificación ABC.....	26
4.3	Descripción y análisis de la política de distribución	28
4.3.1	Identificación de actividades del proceso de entrega a sucursales	29
4.3.2	Descripción de la distribución original	30
4.3.3	Estimación de los pedidos promedio.....	32
4.3.4	Obtención rutas originales	33
4.3.5	Resumen del análisis del esquema original de distribución.....	35
4.4	Descripción y análisis de la política inventario.....	35
4.4.1	Descripción de la política de inventarios	35
4.4.2	Cumplimiento de la política de inventarios de la empresa.....	37
4.4.3	Métricas de inventario para el esquema original	40
4.4.4	Resumen del análisis del esquema original de inventarios	44
4.5	Revisión de la política de distribución.....	44
4.5.1	Esquema de distribución propuesto	44
4.5.2	Comparativa de la propuesta con la situación original	47
4.6	Revisión de la política de inventarios: Depósitos.....	48
4.6.1	Estimación del tiempo de entrega por proveedor	48
4.6.2	Recálculo de niveles máximos: Depósitos	49
4.6.3	Métricas de inventario para el esquema propuesto.....	50
4.6.4	Comparativa de la propuesta con la situación original	53
4.6.5	Comparativa de litros de pintura almacenados	55
4.6.6	Recálculo de niveles máximos: Sucursales	56

4.7	Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT)	57
4.7.1	Elemento FOCALIZAR	57
4.7.2	Elemento VIGILAR	59
4.7.3	Elemento capacitarse	64
4.7.4	Elemento implantar	65
4.7.5	Elemento aprender	66
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
6.	CONCLUSIONES	72
7.	BIBLIOGRAFÍA	74
8.	ANEXOS	76
8.1	Anexo 1 – Sucursales de la empresa	76

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación ABC para la empresa.....	28
Tabla 2: Política original de distribución.....	30
Tabla 3: Flota de vehículos y tipo de tareas realizadas para ambos depósitos.	32
Tabla 4: Envío promedio por sucursal.....	33
Tabla 5: Asignación original de sucursales.	33
Tabla 6: Rutas originales Centro.	34
Tabla 7: Rutas originales Ámbito.	35
Tabla 8: Cumplimiento de política para Ámbito y Centro.	39
Tabla 9: Inventario promedio original.	41
Tabla 10: Rotación anual de inventario para Ámbito y Centro.....	42
Tabla 11: Rutas y reorganización propuestas.	46
Tabla 12: Inventario promedio (Esquema propuesto).	51
Tabla 13: Rotación de inventario (Esquema propuesto).....	51
Tabla 14: Comparación de inventario promedio.	54
Tabla 15: Comparación de rotación de inventario.	54
Tabla 16: Comparación de requerimiento volumétrico.	56
Tabla 17: Análisis DAFO, elemento FOCALIZAR.	58
Tabla 18: Matriz de selección de alternativas tecnológicas.	63
Tabla 19: Comparativa de esquemas de distribución.	67
Tabla 20: Comparación de métricas de inventario.	70
Tabla 21: Sucursales de la empresa.	76

Índice de Gráficos

Ilustración 1: Concepto de cadena de suministro.....	3
Ilustración 2: Ejemplo de problema MDVRP.	5
Ilustración 3: Procedimientos de resolución VRP mediante búsqueda de árbol.	8
Ilustración 4: Procedimientos de resolución VRP mediante búsqueda local.....	8
Ilustración 5: Elementos clave o funciones del proceso de innovación.	18
Ilustración 6: Resultado ejemplo MDVRP.	23
Ilustración 7: Organigrama de la empresa.	25
Ilustración 8: Participación de las ventas por rubro: Ámbito.	26
Ilustración 9: Participación de las ventas por rubro: Centro.	27
Ilustración 10: Diagrama de flujo del proceso de entrega.	29
Ilustración 11: Asignación original de sucursales.	31
Ilustración 12: Nivel de servicio (Esquema Original).	43
Ilustración 13: Detalle de nivel de servicio (Esquema Original): Detalle Superior....	44
Ilustración 14: Asignación propuesta de sucursales.	47
Ilustración 15: Cambio en los niveles máximos: Depósitos.	50
Ilustración 16: Nivel de servicio (Esquema propuesto).	52
Ilustración 17: Nivel de servicio (Esquema propuesto): Detalle Superior.	53
Ilustración 18: Comparación en el nivel de servicio.	54
Ilustración 19: Mejora en el nivel máximo.	57

Tabla de siglas

API: *Application Programming Interface* (Interfaz de programación de aplicaciones).

CSCMP: *Council of Supply Chain Management Professionals* (Consejo de profesionales en administración de la cadena de suministro).

JSON: *JavaScript Object Notation* (Notación de objeto de *JavaScript*)

MDVRP: *Multi Depot Vehicle Routing Problem* (Problema de enrutamiento de vehículos considerando múltiples depósitos).

MOGIT: Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica.

OTEC: Oficina de Transferencia de tecnología y Experimentación

SKU: *Stock Keeping Unit* (Código de referencia)

URL: *Uniform Resource Locator* (localizador de recursos uniforme).

VRP: *Vehicle Routing Problem* (Problema de enrutamiento de vehículos).

UNMDP: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Resumen

El presente trabajo consistió en un análisis y propuesta de mejora para la empresa N° 1 en Pinturerías S.A. El principal objetivo del trabajo fue analizar la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes. Para ello se consideró la estructura de la empresa, separada en dos cadenas comerciales independientes que manejan su logística de forma autónoma una de la otra. Se definieron métricas de almacenamiento y distribución para el diagnóstico de la estructura, gestión y procesos originales. Se propuso realizar una clasificación ABC de la cartera de productos, aplicar un modelo de revisión periódica de inventario con demanda incierta, una redistribución de las sucursales entre las cadenas y la generación de rutas óptimas para el abastecimiento a dichas sucursales. A estas propuestas se las encuadró en el modelo MOGIT con el fin de dar herramientas a la gestión de la innovación tecnológica, para mantener un nivel de mejora constante. Como resultado el stock promedio disminuyó en un 75%, la rotación de inventarios aumentó, la distancia recorrida por las rutas de distribución disminuyó en un 8% y el nivel de servicio se adecuó a la importancia relativa de cada producto según la clasificación ABC. En cuanto al MOGIT, se realizó una búsqueda de alternativas que permitirían, o facilitarían, llevar a cabo implantar las propuestas desarrolladas. Por último, se sugirieron distintas propuestas con el fin de continuar avanzando en el proceso de unificar la logística de ambas cadenas.

Palabras Clave

Logística, inventario, distribución, MOGIT.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente sección se reseñan los antecedentes de la empresa y los objetivos en los que se basa el trabajo y dan encuadre a su alcance.

Seguidamente, en el marco teórico, se mencionan los conceptos tomados de otros autores para utilizarlos como punto de partida de los análisis realizados. Los principales temas de estudio presentes en esta sección son: la logística como parte de la cadena de suministro, políticas de inventario, métodos de control de inventarios, problemas de ruteo y se definen tres métricas a ser utilizadas posteriormente.

Luego de introducidos los conceptos teóricos se detallan, en materiales y métodos, las herramientas utilizadas para llevar adelante los análisis de datos y la obtención de métricas presentes en el trabajo.

En el desarrollo se aplican los conceptos teóricos y las herramientas para realizar un análisis de la situación original de la empresa. A partir del mismo se propone una mejora en el modelo de manejo de inventarios y la optimización de los ruteos de la empresa.

En el final del trabajo se contrastan las métricas calculadas en la situación original respecto de los valores obtenidos con la propuesta formulada.

1.1 Antecedentes

Nº 1 en Pinturerías S.A. es una empresa de origen familiar cuyo accionar se centra en dos rubros: agropecuario y venta de pinturas minorista. La venta de pinturas es una unidad de negocios que ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, principalmente debido a la adquisición de empresas ya constituidas.

La organización comercializa bajo dos nombres: Pinturerías del Centro y Pinturerías Ámbito. Ambas cadenas fueron adquiridas de manera independiente, Centro se adquirió en el año 2002 y Ámbito en 2011. Desde su adquisición la alta gerencia decidió unificar los procesos financieros, contables, de recursos humanos y administrativos, aunque se mantuvo la cultura de cada empresa, empleados, marca, y todo proceso logístico. Dada la complejidad del cambio que implicaba modificar las operaciones de cada cadena, la unificación de la logística se dejó de lado.

Esta estanqueidad fue funcional en un principio, sin embargo, dada la alta competitividad en el sector y la existencia de procesos redundantes y/o innecesarios, se retomó la idea de abordar la unificación total.

El primer paso de este plan de unificación fue la implementación de un software de gestión integral. Seguidamente se debieron abordar los procesos de abastecimiento, almacenamiento y distribución. Para optimizar este proceso se firmó un convenio con la

Facultad de Ingeniería de la UNMDP, que posibilitó la realización de este trabajo dentro de la empresa con el fin de analizar la situación y proponer un camino para mejorar la logística.

1.2 Objetivos

La formulación de los objetivos surgió a partir de la observación, de parte de la gerencia, de los procesos logísticos que toman parte en la organización. Finalmente fueron modelados en conjunto. Se manifestó el interés de seleccionar objetivos en base a una mejora que no fuera disruptiva con la operativa diaria de la organización.

Objetivo general:

- Analizar la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes de una empresa de pinturerías.

Objetivos específicos:

- Análisis de la gestión original.
- Planificación de los requerimientos de inventario.
- Identificación de las actividades del proceso de entrega de productos almacenados.
- Proponer lineamientos de mejora.
- Aplicación del modelo MOGIT para la competitividad sistémica.

2. MARCO TEÓRICO O REFERENCIAL

2.1 Logística como parte de la cadena de suministros

Coyle et al. (2013) cita la definición de logística propuesta por la CSCMP. Según dicha fuente, la logística es parte de los procesos de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios y la información relacionada, desde el punto de origen hasta el de consumo, con la finalidad de satisfacer los requerimientos del cliente.

El mismo autor afirma que el término cadena de suministro es la extensión lógica del concepto de logística, y se puede representar como una tubería o un conducto por el que pasa un flujo eficiente y efectivo de productos, materiales, servicios, información y fondos financieros desde los proveedores del proveedor, a través de diversas organizaciones o empresas intermedias, hasta los clientes del cliente. Para apoyar la definición, se representa el concepto en la Ilustración 1.

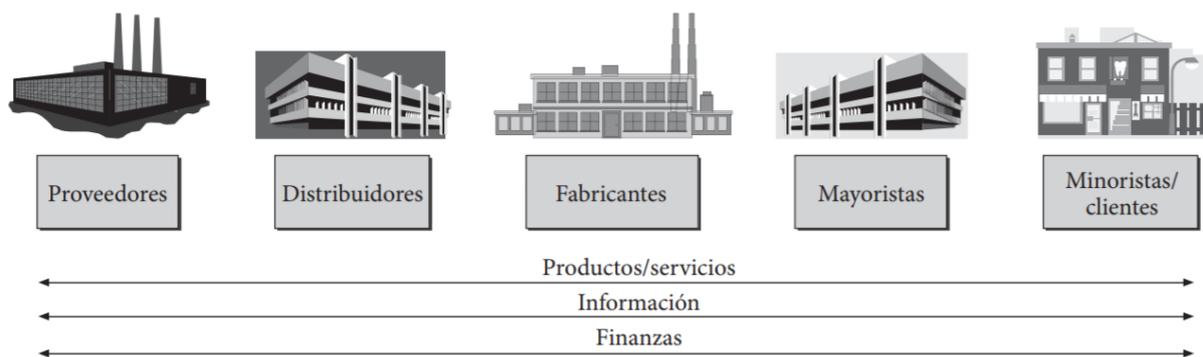


Ilustración 1: Concepto de cadena de suministro

Fuente: Coyle et al., (2013)

Bowersox et al., (2007) describe cinco funciones de la logística, a saber:

Procesamiento de pedidos: implica todos los aspectos de administrar los requerimientos del cliente, entre ellos la recepción inicial del pedido, la entrega, la facturación y la cobranza.

Inventario: los inventarios son acumulaciones de materias primas, provisiones, componentes, trabajo en proceso y productos terminados que aparecen en numerosos puntos a lo largo del canal de producción y de logística de una empresa.

Distribución: la distribución es el área operativa de la logística que desplaza y posiciona geográficamente el inventario.

Almacenamiento, manejo de materiales y empacado: El mantenimiento de los inventarios produce la necesidad de almacenamiento y también la necesidad de manejar los

materiales. Las instalaciones de almacenamiento se diseñan alrededor de cuatro funciones principales: mantenimiento o pertenencia, consolidación, carga fraccionada y mezcla. El diseño y la distribución física (*layout*) del almacén reflejan el énfasis particular en satisfacer una o más de estas necesidades.

Diseño de la red de la planta: El diseño de la red de la planta se ocupa de determinar el número y la ubicación de todos los tipos de plantas requeridas para realizar el trabajo logístico. También es necesario determinar cuál inventario y cuánto almacenar en cada planta, al igual que la asignación de los clientes.

2.2 Distribución

Según Ballou (2004), debido a su alto costo y su importancia dentro de la logística, el transporte, o distribución, es un área a la cual se le debe prestar una gran atención. Una empresa puede satisfacer sus necesidades de transporte de tres formas diferentes:

- Con una flota privada
- Contratando especialistas dedicados a transporte
- Contratando los servicios de transportistas según el envío

Se consideran 3 factores fundamentales a la hora de abordar esta área:

- Costo
- Velocidad
- Regularidad

Para el caso que compete a este trabajo no se abordan los diferentes modos de transporte. Se selecciona, en cambio, un problema específico de distribución que encaja con el contexto de la empresa de estudio. Este es el problema de ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos.

2.2.1 Problema de ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos

Este problema, conocido como *Multi Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) por sus siglas en inglés, considera un conjunto de N clientes a abastecer desde D depósitos. Cada cliente debe ser atendido por un único vehículo, el cual debe empezar y finalizar en un mismo depósito. Se conoce la información de la demanda de los clientes y la capacidad de los depósitos. Los despachos desde los depósitos no deben exceder la capacidad disponible y las rutas programadas no deben exceder la capacidad del vehículo asignado. El objetivo es encontrar un conjunto de rutas que atienda a todos los clientes con las condiciones descritas y al costo mínimo. Los costos se pueden modelizar como la distancia o el tiempo necesario

para transportarse entre diferentes puntos de la red compuesta por clientes y depósitos (Ospina-Toro et al., 2018).

En la Ilustración 2 se muestra un ejemplo del modelo.

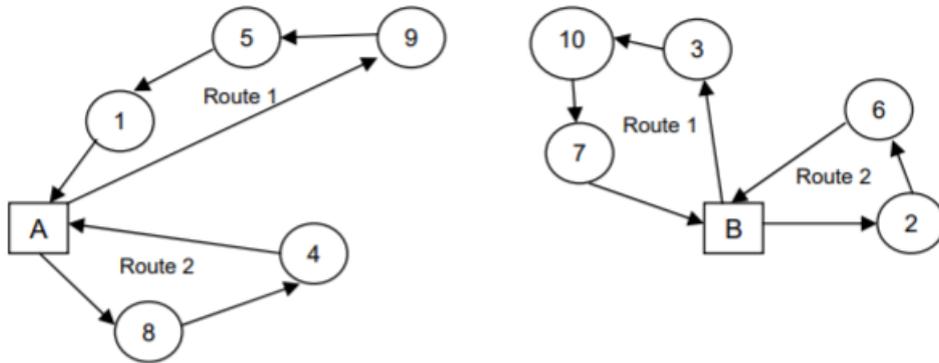


Ilustración 2: Ejemplo de problema MDVRP.

Fuente: Surekha y Sumathi (2011)

En el ejemplo se pueden observar 2 depósitos y 10 clientes. Las decisiones a tomar son: agrupamiento, ruteo, secuenciación y optimización. En cuanto al agrupamiento, se observa que los clientes 1, 5, 9, 4 y 8 están asignados al depósito A, mientras que los clientes 7, 10, 3, 6 y 2 están asignados al depósito B. Los clientes de cada grupo son asignados a una ruta. Para el depósito A, los clientes 1, 5 y 9 están asignados a la primera ruta, mientras que 4 y 8 están asignados a una segunda ruta. A su vez cada ruta tiene una secuencia de visita, para la segunda ruta del depósito A, primero se visita al cliente 8 y luego al 4. Todo esto se elige de forma óptima, de manera que los costos sean mínimos (Surekha y Sumathi, 2011).

2.2.2 Formulación matemática del problema

A continuación, se formula el modelo según Ospina-Toro et al., (2018).

Conjuntos:

I Conjunto de depósitos

J Conjunto de clientes

K Conjunto de vehículos

Parámetros:

N Número de clientes totales

C_{ij} Distancia entre dos puntos i y j / $i, j \in (I \cup J)$

d_j Demanda del cliente j , $j \in J$

Q_k Capacidad del vehículo k , $k \in K$

Variables de decisión:

x_{ijk} Toma el valor de 1 si el punto i precede al punto j en la ruta del vehículo k , $i, j \in (I \cup J)$, $k \in K$. Vale 0 en el caso contrario

U_{lk} Variable auxiliar para prevenir *sub-tours* en la ruta k , $k \in K$, $l \in J$

Modelo matemático:

$$\text{Min} \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} = 1, \quad j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} d_j \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \leq Q_k, \quad k \in K \quad (3)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + Nx_{ljk} \leq N - 1, \quad j, l \in J \quad k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} x_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} x_{jik} = 0, \quad i \in (I \cup J), k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1, \quad k \in K \quad (6)$$

Restricciones de dominio de variables:

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$U_{lk} \geq 0, l \in J, k \in K \quad (8)$$

La función objetivo busca minimizar la distancia recorrida de todos los vehículos. La restricción (2) requiere que cada cliente sea visitado exactamente una vez. La restricción (3) requiere que la demanda total de cada ruta no supere la capacidad del vehículo. La restricción (4), conocida como eliminación de *sub-tours*, impone que toda ruta debe incluir al menos un depósito. La restricción (5) requiere que todo camión que entra a un nodo debe salir de él. La restricción (6) impone que cada ruta debe contener como mucho un depósito. Las restricciones (7) y (8), de dominio, determinan que x es una variable binaria y que la variable auxiliar U es positiva.

Del modelo original se quitaron dos restricciones. La primera asignaba a cada depósito i una capacidad de oferta. Para el problema tratado de ruteo se considera que cada depósito tiene capacidad ilimitada, y por ello se quitó. La segunda restricción permitía requerir que un cliente sea abastecido desde algún depósito en particular.

Se incorporó un conjunto de restricciones al modelo. De las k rutas requeridas, se deben repartir k/D rutas a cada depósito, siendo D el número de depósitos.

2.2.3 Resolución de MDVRP

A continuación, se expone una breve revisión sobre la resolución de problemas de VRP, utilizando como fuente la publicación de Rocha Medina et al. (2011).

Los modelos de VRP son un problema de optimización combinatoria y pertenecen en su mayoría a la clase *NP-Hard*, pues no es posible resolverlos de forma exacta en tiempo polinomial con un ordenador.

En lo que respecta a los métodos de solución, se han abordado históricamente tres grandes categorías, las cuales pueden ser agrupadas en métodos exactos, heurísticas y metaheurísticas.

En lo siguiente, se explican brevemente sólo aquellas técnicas utilizadas por el software empleado en este trabajo. El mismo utiliza un algoritmo heurístico de búsqueda local combinado con dos métodos exactos: búsqueda de árbol y programación dinámica.

Búsqueda de árbol: se realiza una búsqueda sobre todos los nodos de un árbol de acuerdo a criterios específicos propios de cada método. En la Ilustración 3 se muestra la clasificación de los métodos de búsqueda de árbol y sus autores.

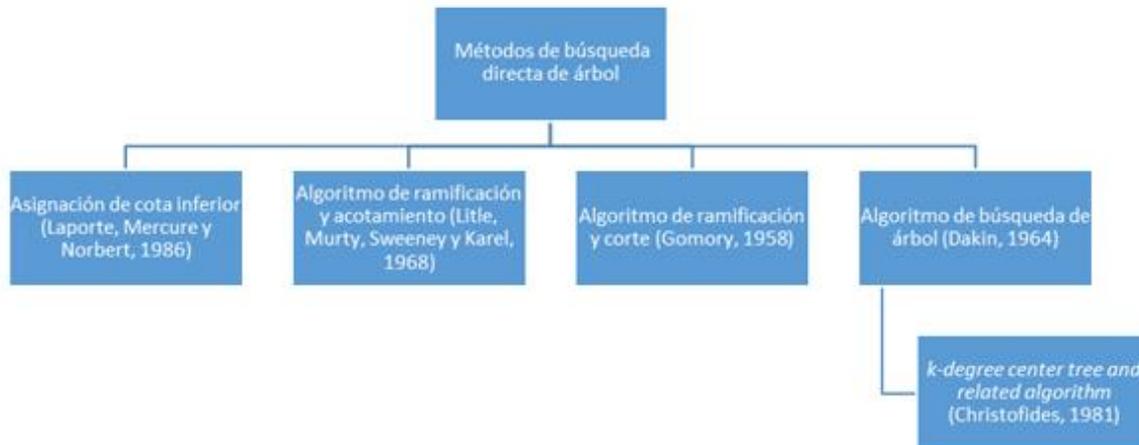


Ilustración 3: Procedimientos de resolución VRP mediante búsqueda de árbol.

Fuente: Rocha Medina et al. (2011).

Programación Dinámica: se considera un número fijo de m vehículos. Encuentra primero el costo mínimo alcanzable utilizando k vehículos, teniendo en cuenta la función del costo en la longitud de una ruta de vehículos a través de todos los vértices del subconjunto, luego encuentra el costo de todos los subconjuntos de vértices con m vehículos.

Procedimientos de Búsqueda Local: los procedimientos de búsqueda local se aplican para mejorar una solución ya obtenida. En estos procedimientos se define un conjunto de soluciones vecinas, de las cuales se escogerá la de menor costo para reemplazar la solución primaria. El procedimiento se repite hasta que no pueda mejorar la solución. Los diferentes procedimientos de búsqueda local se pueden observar en la Ilustración 4.

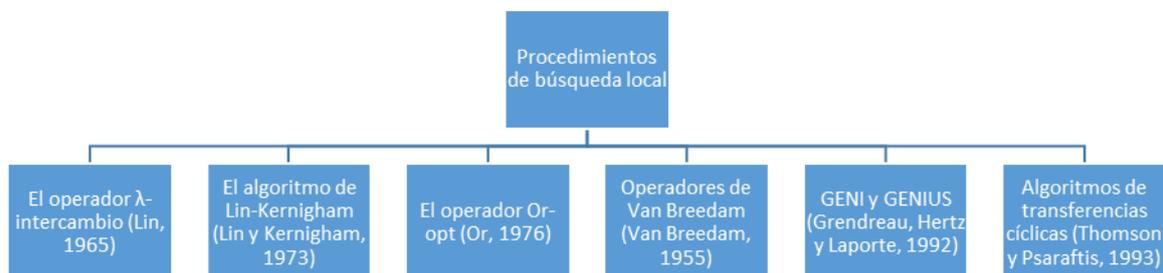


Ilustración 4: Procedimientos de resolución VRP mediante búsqueda local.

Fuente: Rocha Medina et al. (2011).

2.3 Inventarios

Luego de ubicar al inventario como una de las funciones principales dentro de la logística en la sección 2.1, a continuación, se expone su objetivo y los tipos de inventarios que se hallan en cualquier almacén.

El objetivo de una estrategia de inventario es alcanzar el servicio al cliente deseado con el mínimo compromiso del inventario. Los inventarios excesivos pueden compensar las deficiencias en el diseño básico de un sistema logístico, pero al final producirán un costo logístico total más alto que el normalmente necesario. El manejo del inventario implica equilibrar la disponibilidad del producto (o servicio al cliente), por una parte, con los costos de suministrar un nivel determinado de disponibilidad del producto, por la otra (Bowersox et al., 2007).

Los inventarios pueden clasificarse en cinco tipos (Ballou, 2004):

- Los inventarios pueden hallarse en desplazamiento de un punto a otro.
- Se pueden mantener existencias para especulación.
- Las existencias pueden ser de naturaleza regular o cíclica. Estos son los inventarios necesarios para satisfacer la demanda promedio durante el tiempo entre reaprovisionamientos sucesivos.
- El inventario puede crearse como protección contra la variabilidad en la demanda de existencias y el tiempo total de reaprovisionamiento. Esta medida extra de inventario, o existencias de seguridad, es adicional a las existencias regulares que se necesitan para satisfacer la demanda promedio.
- Cuando se mantiene durante un tiempo, parte del inventario se deteriora, llega a caducar, se pierde o es robado. Dicho inventario se refiere como existencias obsoletas, stock muerto o perdido.

La política del inventario consiste en los lineamientos acerca de qué adquirir o fabricar, cuándo efectuar acciones y en qué cantidad. También incluye las decisiones acerca del posicionamiento geográfico del inventario (Bowersox et al., 2007).

El manejo de inventarios se desarrolla alrededor de dos filosofías básicas, el método de demanda (*pull*), y el método de incremento (*push*) (Ballou, 2004).

En el primer caso, el pronóstico de la demanda y de las cantidades de reaprovisionamiento se realizan tomando en consideración las condiciones locales, sin considerar el efecto que tendrán dichas cantidades en las economías del lugar de origen. Ofrecen un control preciso de los niveles de inventario y es ampliamente utilizada a nivel de minoristas.

En el método de incremento (*push*), la programación y el reabastecimiento están coordinados con los tamaños de los lotes de producción, las cantidades económicas de

compra, o los mínimos tamaños de los pedidos. Por lo general se utiliza cuando las economías de compra o de producción a escala valen más que los beneficios de los niveles mínimos de inventarios colectivos. Las cantidades de reaprovisionamiento se asignan según proyecciones, espacio disponible o algún otro criterio.

Sin embargo, en la actualidad muchas organizaciones se han vuelto más sofisticadas en su uso de métodos de control de inventarios y los han adaptado para dar cabida a la orientación *push* y *pull*. Como consecuencia, muchos sistemas mezclan de manera eficaz dichos conceptos. Este y otros métodos proactivos de administración de inventarios predominan en las organizaciones que poseen mayor sofisticación logística (Coyle et al., 2013).

2.3.1 Costos de inventarios

Para determinar la política de inventarios son importantes tres clases generales de costos: costos de adquisición, costos de manejo y costos por falta de existencias. Estos costos están en conflicto, o en equilibrio entre sí (Ballou, 2004).

Los costos de adquisición pueden incluir el precio del producto; el costo de procesar un pedido a través de los departamentos de contabilidad y compras; el costo de transmitir el pedido al punto de suministro; el costo de transportar el pedido cuando los cargos por transportación no están incluidos en el precio de los artículos comprados; y el costo de cualquier manejo o procesamiento de materiales de los artículos en el punto de recepción.

Los costos de mantener inventario resultan de guardar, o mantener, artículos durante un periodo y son proporcionales a la cantidad promedio de artículos disponibles. Estos costos pueden ser considerados en cuatro clases: costos de espacio, costos de capital, costos de servicio de inventario y costos de riesgo de inventario.

Los costos de espacio son cargos hechos por el uso de volumen dentro del edificio de almacenamiento. Los costos de capital refieren al costo del dinero en conexión con el inventario. Los seguros y los impuestos también son una parte de los costos de mantener inventarios, porque su nivel depende en gran medida de la cantidad de inventario disponible. Los costos de riesgo se relacionan con el deterioro, pérdida o robo, daño u obsolescencia.

Se incurre en costos por falta de existencias cuando se coloca un pedido, pero éste no puede surtir desde el inventario actual.

2.3.2 Clasificación ABC de productos

El análisis ABC tiene su origen en la ley de Pareto, que separa a los “muchos triviales” de los “pocos vitales”. En términos de inventario, esto sugiere que un pequeño número de

artículos, o SKU, puede ser responsable de un impacto considerable en la organización (Coyle et al., 2013).

Esta técnica de clasificación asigna los artículos del inventario a uno de tres grupos conforme a su impacto relativo. Los artículos A son los más importantes, los B tienen menor importancia y los C son los menos importantes. El criterio para evaluar un artículo determinará el grupo al que se asignará. Las más comunes son: las ventas, la contribución a las ganancias, el valor del inventario, la tasa de utilización y la naturaleza de los artículos (Bowersox et al., 2007).

El agrupamiento de los productos similares facilita la administración de los esfuerzos para establecer estrategias concentradas en el inventario para segmentos específicos de productos (Coyle et al., 2013).

2.3.3 Modelos de gestión de inventarios

Se expone una descripción, en primer lugar, de los modelos básicos de la gestión de inventarios, según el desarrollo de Coyle et al. (2013). Luego se desarrollan los modelos avanzados según Ballou (2004).

Los modelos básicos toman en cuenta las siguientes hipótesis:

- Tasa continua, constante y conocida de la demanda
- Tiempos de entrega constantes y conocidos
- Toda la demanda se satisface
- Un precio o costo constante que es independiente de la cantidad del pedido (es decir, no hay descuentos basados en la cantidad)
- Ningún inventario en tránsito
- Un artículo en inventario o ninguna interacción entre los artículos
- Horizonte infinito de planificación
- Capital ilimitado

Dados los supuestos mencionados, los modelos básicos consideran sólo dos tipos básicos de costos: de mantenimiento de inventario y de adquisición sin incluir el precio del propio producto (ver sección 2.3.1). Este método contribuye a una decisión óptima en la que se analizan los puntos de equilibrio de estos dos costos.

Si se enfocara sólo en el costo de mantenimiento de inventario, que varía directamente con los cambios en la cantidad del pedido, esta última sería tan pequeña como fuera posible. Si los modelos tuvieran en cuenta sólo el costo del pedido, en los pedidos grandes disminuiría el costo total de los mismos, y en los pequeños aumentaría.

Entre los métodos de básicos de control de inventarios se encuentran los siguientes:

- Pedido único: se aplica cuando los productos involucrados son perecederos o su demanda es de una sola vez.
- Pedidos repetitivos: cuando la demanda es perpetua, los pedidos de reaprovisionamiento de inventarios se repiten en el tiempo. Pueden suministrarse de manera instantánea (con o sin tiempo de entrega), o suministrarse a lo largo del tiempo.
- Reabastecimiento instantáneo sin tiempo de entrega: el control de inventarios se basa en dos parámetros, cantidad de reaprovisionamiento y frecuencia de pedido.
- Reabastecimiento con tiempo de entrega: se introduce el concepto de punto de reorden, que es la cantidad a la cual se permite dejar caer el inventario antes de colocar un pedido. El punto de reorden se determina conociendo la demanda total durante el tiempo de entrega.
- Reabastecimiento no instantáneo, o suministrado a lo largo del tiempo: se utiliza en algunos procesos de manufactura donde la salida es larga durante un tiempo, y puede tener lugar simultáneamente con la demanda.

Los modelos básicos sirven de aproximación teórica al problema de la gestión de inventarios, pero no reflejan la realidad de forma precisa ya que hay ciertos parámetros que no se pueden determinar con exactitud. Como mejora, se reconoce que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer con seguridad. Por lo tanto, se debe planear para una situación en la que no haya suficientes existencias disponibles para surtir las solicitudes de los clientes. Además de las existencias regulares, se añade una cantidad de incremento de inventario denominada stock de seguridad o amortiguador, de tal forma de controlar la probabilidad que ocurran faltas de existencias.

Los métodos avanzados de gestión de inventarios son una extensión de los básicos. Entre los métodos avanzados existen dos modelos importantes: modelo de punto de reorden y modelo de revisión periódica. Para el propósito de este trabajo solo el segundo se desarrollará con profundidad.

Modelo de punto de reorden con tiempos de demanda y de entrega inciertos

En este modelo se determina una cierta cantidad de inventario que, una vez alcanzada, determina la colocación de una orden de pedido por una cantidad definida por el modelo. Además de tener en cuenta la demanda total durante el tiempo de entrega, tiene en cuenta la posibilidad de una demanda extra durante este período y contempla que haya incertidumbre en el tiempo de entrega

Modelo de revisión periódica con demanda incierta

Supone una mejora en la economía de los pedidos, teniendo en cuenta que en el modelo de punto de reorden es posible que cada artículo se solicite en un momento diferente. Además no requiere un monitoreo constante de los niveles de inventario.

Los niveles de inventario son revisados de forma conjunta para varios artículos, de modo que los pedidos se realizan de forma simultánea. Para este modelo los niveles de inventario aumentan respecto del modelo anterior, pero se obtiene un ahorro en manejo de inventarios y costos administrativos reducidos.

Para este modelo se necesita conocer la distribución de la demanda con los parámetros d tasa promedio de demanda y s_d desviación estándar de la demanda, la misma se supone con una distribución normal.

Para el cálculo del intervalo de revisión se consideran las ecuaciones (9) y (10).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} \quad (9)$$

$$T^* = \frac{Q^*}{D} \quad (10)$$

Donde D es la demanda anual, S es el costo de realizar un pedido, I es costo relativo de inventario anual, C es el costo de adquisición unitario, T^* es el tiempo de revisión óptimo y Q^* es el lote óptimo de pedido.

El punto de stock máximo es definido con la ecuación (11).

$$M^* = d(T^* + TE) + z(s'_d) \quad (11)$$

Donde d es la tasa de demanda y $(T^* + TE)$ es la suma entre el tiempo de revisión y el tiempo de entrega. Para este modelo se consideran stocks de seguridad, los mismos son calculados en el término $z(s'_d)$. El valor de z es el número de desviaciones estándar desde la media de la distribución, para la probabilidad deseada de tener existencias. Su valor es seleccionado de las tablas de distribución normal provistas por Ballou (2004).

La desviación estándar s'_d corregida por la suma entre el tiempo de revisión y el tiempo de entrega, se calcula con la ecuación (12).

$$s'_d = s_d \sqrt{T^* + TE} \quad (12)$$

2.3.4 Métricas para el control de inventarios

En este apartado se definen las métricas utilizadas para evaluar el desempeño de la gestión de inventarios.

Según Bowersox et al., (2007) los dos indicadores más importantes del desempeño de un inventario son el inventario promedio y el nivel de servicio. El mismo autor también afirma: “La meta básica (de la logística) es alcanzar una rotación máxima del inventario al mismo tiempo que se satisfagan los compromisos de servicio” (p.27). Por lo que rotación de inventarios también se selecciona como métrica a utilizarse en este trabajo.

Inventario promedio

Los materiales, componentes, el trabajo en proceso y el producto terminado se suelen almacenar en el sistema logístico y se denominan el inventario promedio. Desde el punto de vista de las políticas de administración del inventario, deben planearse objetivos del mismo para cada planta o depósito (Bowersox et al., 2007).

El nivel de inventario promedio para el modelo de revisión periódica se calcula con la ecuación (13).

$$IP = \frac{dT^*}{2} + z(s'_d) \quad (13)$$

Una reducción en el inventario promedio disminuye los costos de mantener un inventario (Ballou, 2004).

Rotación de inventario

Se define la rotación de inventario como una medida de la velocidad en la que se renueva la totalidad del inventario (Bowersox et al., 2007).

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{\text{Unidades vendidas durante el período}}{\text{Inventario promedio durante el período}} \quad (14)$$

Niveles altos de rotación de inventario son deseados, ya que los mismos suponen un menor volumen de inventario inmovilizado, reduciendo los costos de mantener inventario (Ballou, 2004).

Nivel de servicio

Se define el nivel de servicio como la probabilidad de la capacidad de cumplimiento a partir del stock actual (Ballou, 2004). Para un único artículo puede definirse con la ecuación (15).

$$\text{Nivel de servicio} = 1 - \frac{\text{Número de unidades agotadas anualmente}}{\text{Demanda anual total}} \quad (15)$$

Para el modelo de revisión periódica el nivel de servicio se puede reescribir con los parámetros definidos por el modelo, obteniéndose la ecuación (16).

$$NS = 1 - \frac{(D/Q) (s'_d \times E_{(z)})}{D} \quad (16)$$

En este caso D/Q es la cantidad de entregas por año, $E_{(z)}$ es la unidad normal de pérdida integral, estos valores están tabulados en función de la desviación normal z por Ballou (2004).

2.4 Herramientas estadísticas para el análisis de datos

2.4.1 Prueba de Grubbs para detectar valores atípicos

A continuación, se describe la metodología utilizada para detectar valores atípicos (en inglés *outliers*), expuestos por Grubbs, (1969).

Una observación extrema o "valor atípico", es una observación que se desvía notablemente de otros valores de la muestra que se analiza. Existen dos posibilidades de la naturaleza de estos valores:

1) Pueden ser simplemente una manifestación de la variabilidad aleatoria inherente a los datos. Si esto es cierto, los valores deben ser conservados y procesados de la misma manera que las otras observaciones en la muestra.

2) Por otra parte, pueden ser el resultado de un error en el procedimiento experimental, en los cálculos o en el registro de un valor numérico. En este caso se debe investigar la naturaleza del error, y de ser posible reemplazarlo por otro adecuado.

El test de valores atípicos propuesto por Grubbs, supone que los datos están normalmente distribuidos, o se aproximan a una distribución normal.

El estadístico para determinar si el valor mayor es un valor atípico es calculado con la ecuación (17).

$$T_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (17)$$

Donde

x_n Es la última observación, considerando que la muestra está ordenada de menor a mayor, de 1 a n .

\bar{x} Es la media aritmética de la muestra.

s Es la desviación estándar de la muestra, calculada con $n - 1$ grados de libertad, definida en la ecuación (18).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}}{n - 1}} \quad (18)$$

Dado que las muestras utilizadas tienen cantidades positivas, la prueba utilizada es para corroborar si el mayor valor es atípico, aunque Grubbs propone métodos para determinar valores atípicos para el menor valor.

El valor del estadístico T debe compararse con el valor crítico propuesto por Grubbs. El valor crítico $T_{crítico}$, es aquel tal que el estadístico T_n lo superaría con una probabilidad muy pequeña, bajo el supuesto que todos los valores pertenecen a una misma población. Grubbs propone la tabulación de valores críticos para probabilidades de 1% y de 5%. Este porcentaje se conoce como nivel de significancia α .

La prueba se efectúa comparando el estadístico T con el valor crítico, de la siguiente forma. Si $T_n > T_{crítico}(\alpha)$ entonces el valor n es un valor atípico, y dicho valor debe ser investigado. En el caso contrario el valor n es aceptado.

2.4.2 Coeficiente de variación

Se utiliza como un criterio para comparar la variabilidad de las muestras. Es una unidad adimensional que compara la desviación estándar de una muestra con la media. Su expresión matemática es dada por la ecuación (19).

$$C.V. = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (19)$$

2.5 Gestión de la Innovación Tecnológica

Se expone a continuación, una breve introducción a la Gestión de la Innovación tecnológica, propuesta por Petrillo et al., (2018).

En la década de los 70/80, la realidad puso de manifiesto la importancia de la incorporación de la tecnología para la supervivencia y éxito empresarial, ya que condicionaba la calidad y el costo de sus productos, y determinaba su competitividad presente y futura, las cuotas de mercado y los resultados financieros. Nacía así la gestión de la innovación, que incluye la gestión de la I+D (investigación y desarrollo), pero sumándole otros aspectos como el lanzamiento de los nuevos productos, la aplicación de nuevos procesos o el estudio de las razones de su éxito o fracaso, que no figuran normalmente en la agenda de la gestión de la I+D.

También en los ochenta se comenzó a hablar de la Gestión de la tecnología y su inclusión en la estrategia de la empresa, con el objetivo a través de su aplicación de mantener y mejorar la posición competitiva de la empresa, precisamente, mediante la utilización de la tecnología.

La Gestión de la tecnología presenta muchos puntos de contacto con la Gestión de la innovación y a menudo ambas expresiones se utilizan indistintamente, ya que sus fronteras no están perfectamente delimitadas. Muchas veces se habla también de la Gestión de la Innovación y la Tecnología o Gestión de la Innovación Tecnológica (GIT).

Según Dankbaar (1993), la gestión de la tecnología comprende todas las actividades de gestión referentes a la identificación y obtención de tecnologías, la investigación, el desarrollo y la adaptación de las nuevas tecnologías en la empresa, y también la explotación de las tecnologías para la producción de bienes y servicios.

En síntesis, se puede considerar que “Gestión de la Tecnología”, “Gestión de la Innovación”, y “Gestión de la Innovación y la Tecnología”, son sinónimos de “Gestión de la Innovación Tecnológica – GIT”.

2.5.1 Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT)

Existen innumerables modelos para gestionar la innovación tecnológica, y tal recomienda la Fundación COTEC: “Toda empresa tiene que ser capaz de desarrollar su propio modelo de GIT, de acuerdo a sus necesidades, normalmente relacionadas con su sector o su tamaño, pero, sobre todo, con su propia estrategia y visión de futuro” (COTEC, 1999).

Para el presente trabajo, se adopta el MOGIT desarrollado por el observatorio tecnológico OTEC (Tabone y Tieri, 2012). Este modelo toma como referencia el modelo desarrollado por COTEC (1999) y se basa en la interrelación de los 5 elementos clave que son VIGILAR, FOCALIZAR, CAPACITARSE, IMPLANTAR y APRENDER. La relación de estos elementos se representa en la Ilustración 5. Y su significado se desarrolla a continuación.

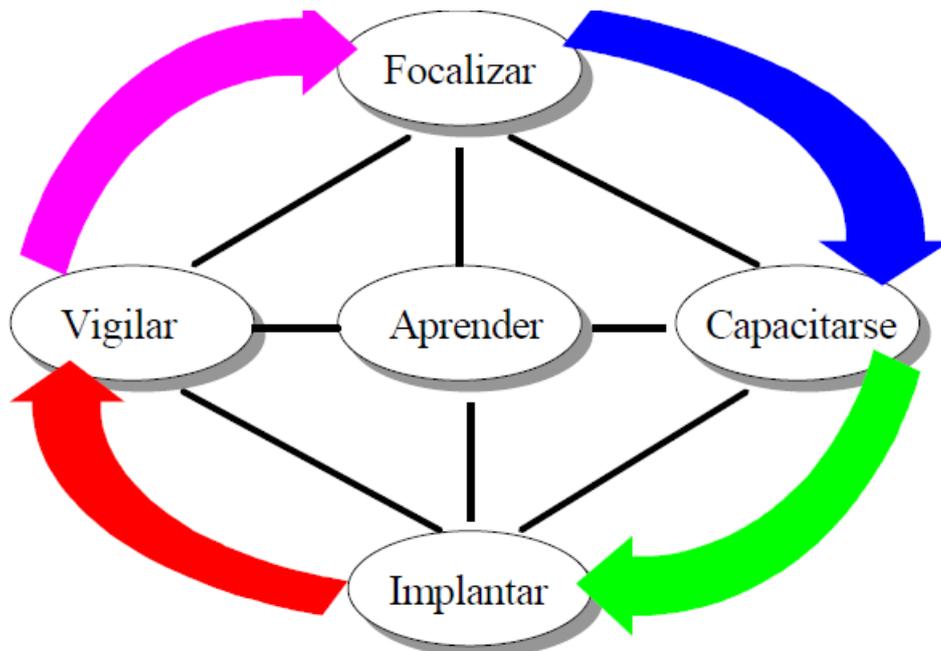


Ilustración 5: Elementos clave o funciones del proceso de innovación.

Fuente: COTEC (1999).

VIGILAR (vigilar las señales del entorno): explorar y buscar en el entorno (interno y externo) para identificar y procesar las señales o indicios de una innovación potencial. Pueden ser oportunidades que surgen de las actividades de investigación, presión para adaptarse a cambios en la legislación, necesidades sin satisfacer de clientes, comportamiento de los competidores, de los empleados, o de la aparición de nuevas tecnologías. Todas ellas representan un conjunto de estímulos ante los cuales debe responder la organización (amenazas y oportunidades).

FOCALIZAR (desarrollo de una respuesta estratégica): consiste en seleccionar una respuesta estratégica en la que la empresa pueda comprometer recursos para llevarla a cabo. Se requiere una adaptación externa entre la estrategia tecnológica y el entorno y, una interna, entre la estrategia tecnológica y la estructura de operaciones.

CAPACITARSE (adquirir el conocimiento organizacional necesario): una vez seleccionada la estrategia tecnológica, las organizaciones tienen que dedicar la capacidad y

recursos, -bien creándolos mediante I+D+i propia o adquiriéndolos mediante transferencia de tecnología-, necesarios para ponerla en práctica.

IMPLANTAR (implantar la solución): finalmente, las organizaciones tienen que implantar la innovación, partiendo de la idea y siguiendo las distintas fases de desarrollo hasta su lanzamiento final como un nuevo producto o servicio en el mercado, o como un nuevo proceso o método dentro de la empresa.

APRENDER: este elemento refleja la necesidad de la permanente reflexión sobre los elementos previos y revisar las experiencias de éxitos o fracasos, a fin de poder captar el conocimiento pertinente de la experiencia recogida.

El desarrollo de las funciones apuntadas requiere de la aplicación de un conjunto de herramientas que necesitan ser adaptadas a la cultura de la empresa. A continuación, se presentan cuáles herramientas se integran a cada uno de los elementos clave del proceso de innovación (listado no exhaustivo) y se describe sucintamente sus características (Petrillo et al., 2018).

La Fundación COTEC (1999) propone un conjunto de herramientas para llevar a cabo cada uno de los elementos clave. En los párrafos siguientes se mencionarán las que se consideran de mayor utilidad para la concreción del presente trabajo.

Herramientas para FOCALIZAR

a) **Análisis DAFO**: es una de las herramientas más clásicas para visualizar las señales relacionadas con el cambio tecnológico. Consiste en un método estructurado que permite explorar los principales retos tecnológicos a los que se enfrenta la empresa, identificando sus Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas. En base a dichos retos, la empresa debe formalizar las estrategias tecnológicas y de gestión que le permitan llevar adelante la GIT y su modelo de negocios.

Herramientas para VIGILAR

a) **Auditoría Tecnológica**: es una herramienta de diagnóstico que consiste en interrogarse sobre las tecnologías y los conocimientos que domina la empresa. Indicará: el equipo disponible, la capacidad y competencia de una empresa; la base de conocimiento utilizada en los trabajos existentes y a emplear a futuro, o que podría ser explotado a través de licencias o el establecimiento de redes; el potencial de innovación; la tecnología incluida en las patentes y los acuerdos sobre los derechos de las patentes, entre otros.

b) **Vigilancia Tecnológica (VT)**: tiene por objetivo identificar y evaluar los avances tecnológicos críticos para la posición competitiva de la empresa, detectando cambios y discontinuidades en tecnologías existentes, así como nuevas tecnologías emergentes con su impacto potencial en los productos, mercados, procesos de producción y negocios. Debe

determinarse qué se debe vigilar, qué información buscar y donde localizarla, de qué forma comunicarla y a quién dirigirla y que medios económicos y de apoyo se deben destinar.

Herramientas para IMPLANTAR

a) Mejora continua: aprovechando la creatividad de todo el personal de la organización, seguro es posible llegar a ser más innovador. Toma relevancia lograr provocar la generación de cientos y miles de pequeñas ideas que puedan generar mejoras en cualquiera de las dimensiones del negocio (producción, costos, calidad, etc.) a través de una gran implicación del personal. El ciclo de resolución de problemas mediante la mejora continua recorre las siguientes etapas: identificar; definir; explorar, seleccionar; implantar y revisar. Utiliza técnicas tales como brainstorming, diagramas de causa y efecto, el ciclo de resolución de problemas, las listas de revisión, los diagramas de flujo y el despliegue de la política.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de casos, se basó en la investigación cuantitativa, la cual contrasta una teoría existente, en lugar de generar una. Se fundamenta en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra como objeto de estudio (Vasilachis de Gialdino, 2006).

Las fuentes primarias son aquellas que contienen información original no abreviada ni traducida, llamadas también fuentes de información de primera mano. Proveen un testimonio o evidencia directa sobre el tema de investigación. Son escritas durante el tiempo que se está estudiando o por la persona directamente relacionada con el evento (Bounocore, 1976).

En la presente investigación se utilizaron entrevistas y observación directa, como fuentes primarias (Holmes, 2013). Como fuentes de datos primarios se utilizaron los datos históricos del software utilizado para la gestión de inventarios y por último, entrevistas de tipo semi-estructuradas, comenzando con preguntas previamente estipuladas.

Las fuentes secundarias interpretan y analizan fuentes primarias. Son textos basados en fuentes primarias, e implican generalización, análisis, síntesis, interpretación o evaluación. Se utilizaron distintos artículos, estudios de tesis y documentos web relacionados con el tópico de estudio.

3.1 Utilización del software empresarial

Los datos referidos a inventarios, fueron obtenidos desde los servidores de la empresa. El ingreso se hizo desde un software de escritorio remoto con autorización del personal de sistemas de la empresa. De esta forma se accedió al servidor y desde allí se inició el programa de gestión y se hicieron las consultas necesarias. Los datos proporcionados incluyen: stock de toda la empresa a los días lunes, transferencias realizadas desde los depósitos a las sucursales, “mínimos” de cada artículo para cada sucursal y depósito, fechas de recepción y emisión de pedidos, ubicación geográfica, número interno y nombre interno de las sucursales y de los depósitos ubicados en la ciudad de Mar del Plata, y código, descripción, peso y volumen de cada artículo, entre otros

Los datos se obtienen en formato de archivos tipo planilla de cálculo. Se trataron en el programa Microsoft Excel.

3.2 Visita a depósitos y contacto con encargados de logística

Se realizaron visitas a ambos depósitos para tener contacto con los encargados de logística de ambas empresas. De estas visitas se obtuvo el esquema de funcionamiento

general de los depósitos. Se identificaron las áreas más relevantes de la logística y su impacto en la empresa.

En cuanto a la distribución, se reconocieron los procedimientos establecidos por cada cadena y los criterios seleccionados para definir el esquema utilizado. Estos datos permitieron identificar las actividades de mayor impacto para su posterior abordaje.

3.3 Herramienta *OR-Tools* para resolver problema MDVRP

OR-Tools es un paquete de software de código abierto para resolver modelos de optimización, preparado para abordar los problemas más complejos en enrutamiento de vehículos, flujos, programación entera y lineal y programación con restricciones.

OR-Tools ofrece en su página web códigos pre-fabricados¹ que obtienen la solución de diversos modelos. Dentro de estos se encuentra un problema de VRP. A continuación del mismo se ofrecen líneas de código para agregar al problema original y generar diversas variantes. Aquellas de interés para este trabajo fueron requerir restricciones de capacidad en los vehículos, y la asignación de múltiples depósitos.

A continuación, se describe la secuencia de pasos seguidos en el trabajo para obtener la solución al modelo MDVRP planteado.

1. Elegir un lenguaje de programación e instalar la distribución más reciente en un ordenador. En el caso de este trabajo se eligió *Python 3.7*.
2. Seguir los pasos del sitio web de *OR-Tools*, para instalar el paquete de funciones según el lenguaje elegido en el paso 1.
3. Obtener el código pre-fabricado de VRP disponible en la página de *OR-Tools*. Se debe copiar a un editor de texto, que permita su configuración.
4. Introducir modificaciones pertinentes a un problema de MDVRP. Esto se detalla en la página de *OR-Tools*. Las modificaciones que se deben introducir son:
 - a. Incorporar demanda de los clientes y capacidad de los vehículos.
 - b. Agregar más de un depósito y asignar los vehículos a cada uno.
5. Guardar el fichero con extensión pertinente al lenguaje de programación y ejecutarlo. Para el caso de *Python* debe guardarse con extensión *.py*. Para ejecutar en el sistema operativo *Windows*, se debe ejecutar la consola del sistema y luego introducir el comando *python nombre_archivo.py*, donde *nombre_archivo* es el nombre con el que el fichero fue guardado. Los resultados para un ejemplo se muestran en la Ilustración 6. 0 y 1 representan depósitos y 2 y 3 representan

¹ <https://developers.google.com/optimization/>

sucursales. *Load* indica la cantidad entregada acumulada en cada punto del recorrido.

```
> python ejemplo.py
Route for vehicle 0:
 0 Load(0) -> 2 Load(10) -> 0 Load(10)
Distance of the route: 1552m
Load of the route: 10

Route for vehicle 1:
 1 Load(0) -> 3 Load(20) -> 1 Load(20)
Distance of the route: 616m
Load of the route: 20

Total distance of all routes: 2168m
Total load of all routes: 30
```

Ilustración 6: Resultado ejemplo MDVRP.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Obtención de coordenadas de sucursales con Google Maps

Para obtener la ubicación geográfica exacta de cada sucursal se utilizó el servicio *Google Maps*, accesible desde cualquier navegador web. Se tomaron como base las direcciones de las sucursales, provistas por la empresa.

Para obtener dicha información se siguieron los siguientes pasos.

1. Acceder a la página de *Google Maps* desde un navegador web².
2. Introducir la dirección de la sucursal de la cual se desea hallar su ubicación en coordenadas geográficas.
3. Efectuar la consulta.
4. En el marcador generado hacer clic derecho y luego clicar la opción: “¿Qué hay aquí?”.
5. Tomar nota de las coordenadas que figuran en la ventana emergente del extremo inferior.

3.5 Obtención de distancias con *Google Distance-Matrix API*

Para obtener las distancias entre todos los puntos involucrados (depósitos y sucursales) para aplicarlo al MDVRP, se recurrió a un servicio de *Google Maps Platform* llamado *Distance-Matrix API*. Este servicio permitió obtener la distancia de recorrido real entre dos puntos teniendo en cuenta la topografía y las restricciones de circulación.

Para obtener dicha información se siguieron los siguientes pasos.

² <https://www.google.com.ar/maps>

1. Crear una cuenta en *Google Maps Platform*³.
2. Habilitar la API *Distance-Matrix* y obtener la *key* de consulta.
3. Las consultas se generan en un navegador web indicando las coordenadas de las sucursales o depósitos en la URL. Se genera una respuesta en formato JSON. El resultado se debe interpretar como se indica en la documentación de *Distance-Matrix*.
4. Pasar a un formato apropiado para poder introducir luego las distancias en el modelo MDVRP.

³ <http://developers.google.com/maps/>

4. DESARROLLO

4.1 Descripción de la organización

N° 1 en Pinturerías S.A. es una empresa dedicada a la venta de pintura minorista en Mar del Plata y la zona. Comercializa en la ciudad bajo dos nombres comerciales: Pinturerías Ámbito y Pinturerías del Centro (Ámbito y Centro, respectivamente, de aquí en más). Estos dos nombres son, a su vez, dos unidades de negocio diferentes, pero que comparten funciones administrativas. En cuanto a decisiones comerciales y operativas, ambas cadenas funcionaron históricamente, de forma estanca.

Dentro de la ciudad de Mar del Plata, la empresa cuenta con un total de 25 sucursales las cuales pertenecen a una cadena de manera exclusiva. El detalle de cada una, la ubicación, y la cadena a la cual pertenece se puede observar en el Anexo 1 – Sucursales de la empresa.

4.1.1 Organigrama

A continuación, se presenta el organigrama de la empresa (Ilustración 7) para poder comprender mejor como es la organización interna.

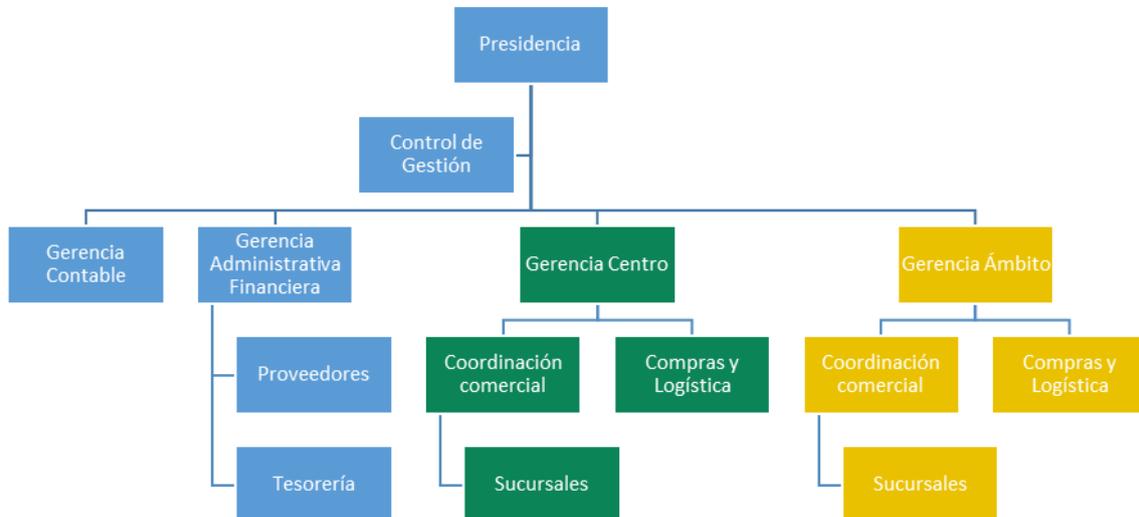


Ilustración 7: Organigrama de la empresa. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

En esta ilustración se distinguen las cadenas con los colores distintivos de cada una. Amarillo para el caso de Ámbito y verde para el caso de Centro. Este esquema de colores se respeta a lo largo del trabajo con el fin de facilitar la interpretación de los gráficos.

La Gerencia Administrativa Financiera es la encargada de coordinar las funciones que son compartidas por ambas cadenas. Estas incluyen Proveedores (pagos, control de cuentas corrientes, etc.) y Tesorería.

La Gerencia Contable lleva los estados contables de toda la empresa.

Cada cadena posee un gerente y coordina de forma independiente la logística y las decisiones comerciales y operativas. Por orden de Presidencia, los encargados de logística deben coordinarse a la hora de realizar grandes compras. De esta forma se pueden aprovechar diversos descuentos que los proveedores realizan por compras en cantidad.

Control de Gestión da apoyo directo a Presidencia. Se encarga de la obtención de información de las dos cadenas, y de la elaboración y control de las métricas de desempeño.

Finalmente, Presidencia se encarga de la toma de decisión de nivel táctico y estratégico, orientando el rumbo de la empresa a largo plazo.

4.2 Análisis de la cartera de productos y clasificación ABC

El análisis se realizó tanto para cada cadena individualmente, como para ambas cadenas de forma agregada.

En la Ilustración 8 y la Ilustración 9 se muestra, con diagramas de Pareto, la participación en las ventas de los rubros en los que la empresa segrega los productos con los que trabaja.

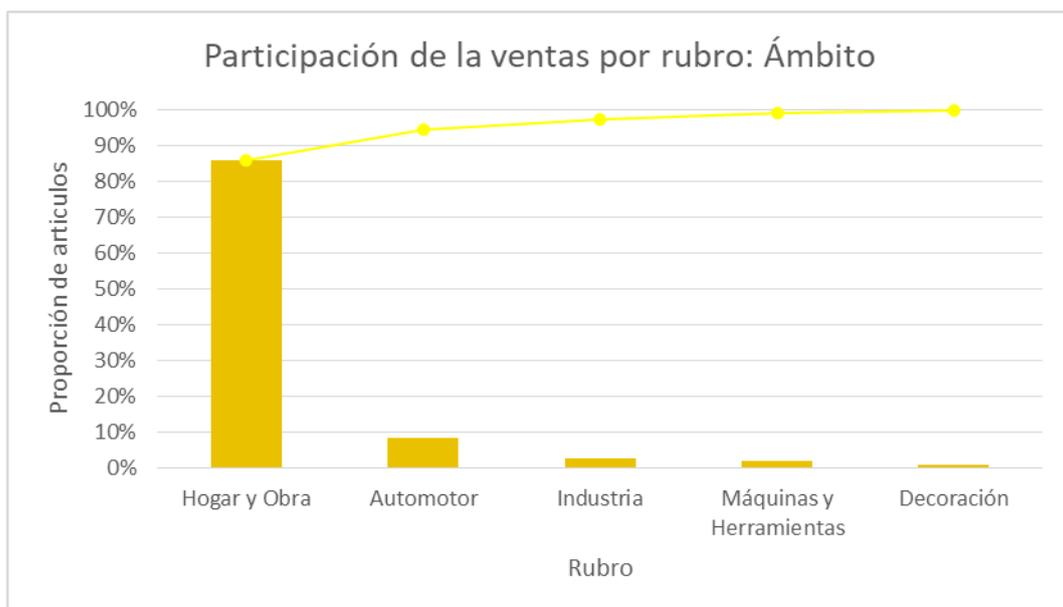


Ilustración 8: Participación de las ventas por rubro: Ámbito. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

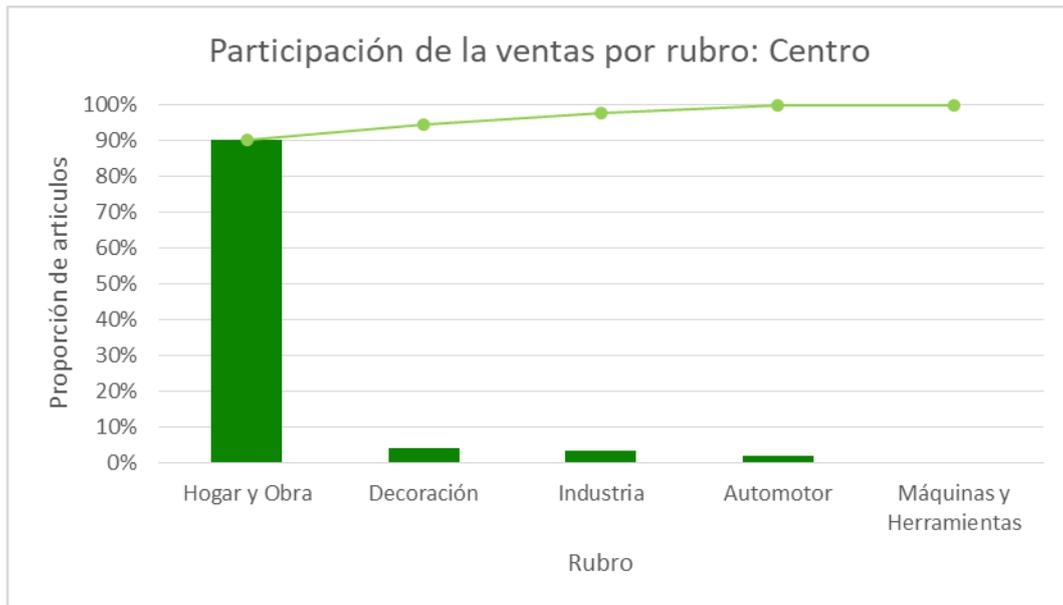


Ilustración 9: Participación de las ventas por rubro: Centro. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

Al tener el rubro Hogar y Obra una importancia mayor al 80% en ambas cadenas, y considerando el principio de Pareto, se realizó la clasificación ABC sólo con los artículos pertenecientes a este grupo. Los artículos pertenecientes a los otros rubros no se tuvieron en cuenta para el análisis.

Para el ABC, se utilizó el criterio de ingresos por ventas. Dado que la empresa tiene un fin lucrativo, aquellos productos que generaron mayores ventas fueron considerados como más importantes.

Los criterios utilizados fueron:

- Productos A: aquellos productos que acumularon el 80% de las ventas.
- Productos B: aquellos productos que acumularon el siguiente 15% de las ventas
- Productos C: aquellos productos que acumularon el 5% restante de las ventas.

Consideraciones especiales que se tuvieron:

- Las bases tintables en diversas presentaciones de las líneas Duralba y Albalatex (Latex), Albalux y Satinol (Esmalte Sintético), Revex y Marble (Revestimiento plástico), se consideraron productos A. Lo mismo para los colorantes universales que se utilizan en estas bases tintables. Esta consideración se sustentó en el hecho de que se requieren todas las combinaciones de bases y colorantes para tener disponibilidad del catálogo de colores y en consecuencia dichos productos deben obtener tratamiento

prioritario. Muchos de estos artículos no quedaron en principio en la categoría A, ya que no todos los colores se venden por igual. Aun así, son indispensables para la preparación de todos los colores disponibles por catálogo.

- Los productos marca Centro fueron incluidos en la categoría A si al menos una presentación clasificó en dicha categoría. Esta consideración se sustentó en el hecho de que la marca Centro es la insignia en la cadena del mismo nombre.

En la Tabla 1 se muestra el resultado del análisis ABC para Centro, Ámbito, y en conjunto, con todas las recategorizaciones según las consideraciones especiales tomadas.

	A	B	C
Centro			
<i>Cantidad de productos</i>	377	596	1,573
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	15%	23%	62%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	60,533	11,383	3,787
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%
Ámbito			
<i>Cantidad de productos</i>	369	610	1,744
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	14%	22%	64%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	98,005	18,416	6,136
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%
Conjunta			
<i>Cantidad de productos</i>	514	823	2,535
<i>Cantidad de productos / Total productos</i>	13%	21%	65%
<i>Cantidad de ventas [mUM]*</i>	158,495	29,734	9,907
<i>Cantidad de ventas / Ventas totales</i>	80%	15%	5%

Tabla 1: Clasificación ABC para la empresa. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

*[mUM]: miles de unidades monetarias.

La separación de los artículos en A, B o C se utilizó en el desarrollo para la realización de análisis, comparaciones y para la visualización de datos.

4.3 Descripción y análisis de la política de distribución

Dado el objetivo de mejorar la distribución de la empresa, en esta sección se describe el análisis de la distribución realizado, comenzando por el proceso de entrega a sucursales. Luego se estima el requerimiento semanal de cada sucursal y posteriormente se describen

los resultados de la medición de la distancia recorrida por los vehículos, bajo el esquema original de distribución.

4.3.1 Identificación de actividades del proceso de entrega a sucursales

Las actividades de entrega son compartidas por ambas cadenas y se muestran en el diagrama de flujo de la Ilustración 10. Este conjunto de actividades es realizado diariamente y las sucursales afectadas varían según el cronograma del encargado de logística.

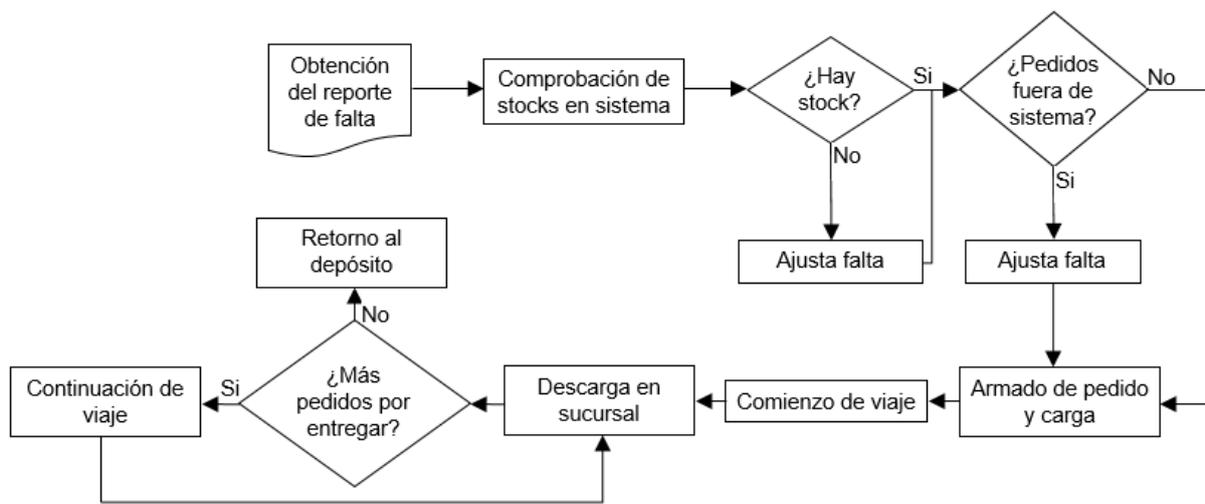


Ilustración 10: Diagrama de flujo del proceso de entrega. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

Como inicio del proceso se obtiene el reporte de falta desde el software. Este reporte indica la diferencia entre el stock existente al momento de la consulta y las existencias mínimas que se deben tener. Este concepto, equivale al de cantidad de reaprovisionamiento descrito por Ballou (2004), en el modelo de revisión periódica.

El encargado de logística ajusta el reporte según las existencias disponibles en el depósito.

Puede suceder que haya pedidos especiales por fuera del sistema, por lo que el encargado de logística agrega estos productos al envío a realizar. Estos pedidos especiales corresponden a ventas puntuales que se encuentran por encima de los valores calculados para los mínimos. En general esto sucede de forma esporádica.

Luego, los operarios del depósito preparan el pedido y lo cargan a los vehículos para realizar el reparto. Cada depósito cuenta con una flota de vehículos que no es compartida entre las cadenas.

Al finalizar la carga, el vehículo parte del depósito y visita las sucursales asignadas al viaje. Las rutas son elaboradas por el encargado de logística en base a su criterio personal.

Estas rutas en general son definidas de forma fija, tienen una validez de largo plazo y rara vez son modificadas.

Cuando el vehículo arriba a una sucursal, los artículos del pedido son descargados. Los vendedores de las sucursales se encargan de desagregar y acomodar los productos.

En caso de quedar envíos pendientes se repite el proceso anterior, caso contrario regresa al depósito.

Se observó que dentro de las actividades del proceso de entrega no se define el recorrido a realizarse por los vehículos. Sino que este recorrido ya se encuentra estipulado de antemano por los encargados de logística de cada depósito, es decir, el recorrido es fijado mucho antes de saber las cantidades a enviarse a cada sucursal.

Si bien la distribución es parte del proceso de entrega que se realiza diariamente, en la práctica la empresa no determina la forma de distribuir en un corto plazo. Es decir, no analiza las rutas óptimas de los recorridos, en base a los requerimientos particulares de cada proceso de entrega.

4.3.2 Descripción de la distribución original

La distribución original de la empresa sigue la política de asignar a cada uno de los dos depósitos todas las sucursales pertenecientes a una de las dos marcas. Esto se resume en la Tabla 2.

	Depósito 1	Depósito 2
Cadena a abastecer	Centro	Ámbito
Ubicación	Av. Juan B. Justo 5000	Av. Champagnat 700
# Sucursales asignadas	11	12

Tabla 2: Política original de distribución. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa

Todas las sucursales están distribuidas dentro de la Ciudad de Mar del Plata. En la Ilustración 11 se muestran las asignaciones y las ubicaciones relativas entre las mismas. Para realizar este mapeo se tuvieron en cuenta las coordenadas geográficas obtenidas de Google Maps, según las direcciones especificadas por la empresa (ver Materiales y Métodos, 3.4).

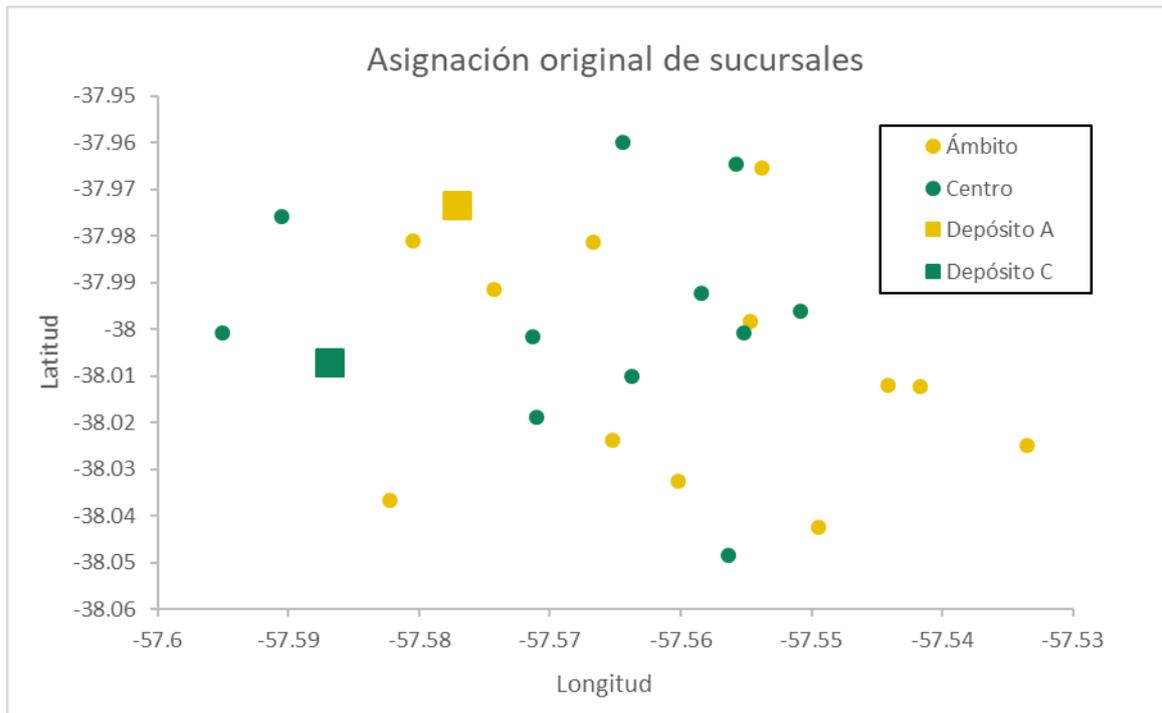


Ilustración 11: Asignación original de sucursales. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la flota de vehículos, cada depósito tiene su propia flota. Los vehículos pueden realizar dos tipos de repartos: abastecimiento a sucursales y repartos a domicilio. Los vehículos no son compartidos entre los depósitos.

El abastecimiento a sucursales se realiza siguiendo una lógica de ruteo particular de cada depósito, sin utilizar un software VRP o herramientas similares. Las rutas pueden contener una o más sucursales y pueden realizarse múltiples visitas a cada una en la misma semana. Esto depende del volumen de pedido de cada punto.

Los repartos a domicilio se realizan en concordancia con la política de la empresa. Cada sucursal puede ofrecer envíos a domicilio en una venta, si la misma supera cierto monto. Según la cadena a la que pertenezca, el depósito asociado debe disponer un recurso para ir a buscar la mercancía a la sucursal y entregarla al cliente. Este tipo de reparto no se tuvo en cuenta para el análisis.

En la Tabla 3 se detalla la flota de vehículos de cada depósito y el tipo de reparto que realiza.

Depósito Centro	Capacidad [KG]	Tipo de tareas
Vehículo 1	1,500	Abastecimiento a sucursales
Vehículo 2	1,200	Abastecimiento a sucursales / Envíos a domicilio

Depósito Ámbito	Capacidad [KG]	Tipo de tareas
Vehículo 3	6,000	Abastecimiento a sucursales
Vehículo 4	2,000	Abastecimiento a sucursales / Envíos a domicilio
Vehículo 5	600	Envíos a domicilio

Tabla 3: Flota de vehículos y tipo de tareas realizadas para ambos depósitos.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.

4.3.3 Estimación de los pedidos promedio

Para estimar el pedido promedio de cada sucursal se utilizaron los datos de las transferencias entre los depósitos y las sucursales. Estos datos representan lo que realmente se envió entre ambas partes, pero no representan el pedido real. Entre el pedido emitido y lo realmente enviado es probable que hayan existido discrepancias. Se puede atribuir a la falta de existencias en depósito o a modificaciones manuales del pedido.

Dado que las transferencias se extrajeron desde el sistema en unidades de artículo, dichos datos fueron convertidos a kilogramos. Esto permitió medir el pedido promedio en la misma unidad que la capacidad de los vehículos. Para esta transformación se utilizaron dos datos: el factor litros (indica cuantos litros son contenidos en un artículo) y la densidad de la pintura. Según la empresa, la densidad promedio de todos los tipos de pintura es de 1.3 kg/l. Los resultados se muestran en la Tabla 4. Las sucursales se indican con la nomenclatura interna de la empresa (el detalle de la sucursales se puede ver en el Anexo 1 – Sucursales de la empresa).

Sucursal	Envío promedio [KG]
4	1,517
17	848
201	1,033
51	2,139
2	3,601
1	3,452
57	2,387
16	1,536
203	1,617
53	1,474
55	2,103
52	1,774
301	363
524	939
488	1,110
521	944
351	1,520
522	968
479	1,927
520	1,151
480	1,050
487	810
519	806

Tabla 4: Envío promedio por sucursal.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Obtención rutas originales

El esquema original de asignación se muestra en la Tabla 5. Se utiliza la nomenclatura interna de la empresa y además se indica el envío semanal promedio.

	Depósito Centro	Depósito Ámbito
Sucursales	301 - 524 - 488 - 521 - 351 - 522 - 479 - 520 - 480 - 487 - 519	4 - 17 - 201 - 51 - 2 - 1 - 57 - 16 - 203 - 53 - 55 - 52
Envío promedio [KG]	11,589	23,482

Tabla 5: Asignación original de sucursales. Fuente: Elaboración propia.

Como no se contaba con información del ruteo original de cada depósito, se hizo la suposición de que las rutas originales estaban definidas de forma óptima, por lo que se utilizó el software VRP para obtenerlas. Se tomó como criterio no permitir fraccionar la carga, es decir, el envío semanal por sucursal se entrega de una vez, en un único viaje. Como estas suposiciones no son ciertas en la práctica habitual de la empresa, los resultados obtenidos arrojaron una distancia de recorrido probablemente menor que la real. Además, no se asignó restricción de capacidad sobre el depósito.

Según el envío promedio, y la asignación original de sucursales se eligió la cantidad de rutas y los camiones a utilizar. Esto se hizo en base al criterio de utilizar primero los camiones con más capacidad.

Se observa, en la Tabla 4, que las sucursales 351 y 479, asignadas a Centro, sobrepasan la capacidad de cualquier vehículo de dicha cadena. Como una de las suposiciones era no permitir fraccionar la carga, se redujo el envío promedio de estas sucursales, únicamente para esta ejecución del VRP, a 1,500 kg. Considerar la necesidad de más de una visita a estas sucursales, arrojaría un resultado con más kilómetros de recorrido. El envío promedio modificado total resultó en 11,145 kg.

Con estas consideraciones se eligieron siete camiones de 1,500 kg y uno de 1,200 kg. Totalizaron 11,700 kg de capacidad disponible.

Se ejecutó el programa y se observó que no se encuentra solución para esta flota. Se encontró una solución agregando dos viajes con vehículos de 1,200 kg.

En la Tabla 6 se muestra el resultado obtenido.

	Capacidad vehículo [KG]	Carga del envío [KG]	Sucursales visitadas	Distancia [KM]
Ruta 1	1,500	1,307	301 - 521	15
Ruta 2	1,500	939	524	12
Ruta 3	1,500	810	519	10
Ruta 4	1,500	1,110	488	8
Ruta 5	1,500	1,500	351	8
Ruta 6	1,500	1,500	479	8
Ruta 7	1,500	968	522	3
Ruta 8	1,200	1,050	480	4
Ruta 9	1,200	810	487	4
Ruta 10	1,200	1,151	520	2
TOTALES	14,100	11,145	11	74

Tabla 6: Rutas originales Centro. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que solamente en la Ruta 1 se pudieron agrupar envíos entre sucursales. Esto se debe a que la capacidad del camión permitió combinar dos sucursales en un mismo viaje. Se asignaron entonces viajes individuales en la mayoría de los casos.

Se concluyó que teniendo en cuenta los envíos promedio (con las simplificaciones hechas anteriormente), la menor distancia posible de recorrer con el esquema original es 74 km. Este resultado tuvo en cuenta el abastecimiento de las sucursales de Centro, y solamente esas, desde el depósito homónimo.

Se repitió el procedimiento para calcular las rutas óptimas de Ámbito. No hubo que tener consideraciones especiales ya que ninguna sucursal sobrepasó la capacidad de los vehículos.

Dados los requerimientos de envíos de 23,482 kg (Tabla 5), se seleccionan 4 viajes con el vehículo de 6,000 kg. El programa halló una solución, la cual se muestra en la Tabla 7.

	Capacidad vehículo [KG]	Carga del envío [KG]	Sucursales visitadas	Distancia [KM]
Ruta 1	6,000	5,704	51 - 53	23
Ruta 2	6,000	5,897	55 - 17 - 203 - 16	22
Ruta 3	6,000	5,816	2 - 52 - 4	12
Ruta 4	6,000	5,921	1 - 201 - 57	4
TOTALES	24,000	23,338	12	61

Tabla 7: Rutas originales Ámbito. Fuente: Elaboración propia.

Se concluyó que teniendo en cuenta los envíos promedio, la menor distancia posible de recorrer con el esquema original es 61 km. Este resultado tuvo en cuenta el abastecimiento de las sucursales de Ámbito, y solamente esas, desde el depósito homónimo.

4.3.5 Resumen del análisis del esquema original de distribución

En el análisis descrito en las secciones precedentes, se observó en primer lugar, que la asignación de sucursales a cada depósito sigue un criterio que no optimiza la logística de la empresa. También se observó que la asignación de rutas está definida de forma fija, y es invariante en el corto y mediano plazo. Además, no se realiza con alguna herramienta, sino que sigue el criterio particular de cada encargado de depósito.

Para estimar las necesidades de cada sucursal, se utilizaron datos reales de transferencias entre estas y los depósitos, y se convirtieron a kilogramos mediante el factor litros. Esto fue necesario para posteriormente estimar el ruteo bajo el esquema de asignación original.

En la obtención de rutas, se utilizaron criterios que sobre-optimizaron el resultado: no se permitió fraccionar la carga y se asignó la mayor cantidad de veces posible vehículos de mayor capacidad. El resultado obtenido, indica que la menor distancia posible a recorrer con el esquema original, para ambos depósitos, es de 135 km.

4.4 Descripción y análisis de la política inventario

Dado el objetivo de mejorar el abastecimiento de la empresa, en esta sección se muestra el análisis de datos sobre los inventarios para ambas cadenas. El objetivo principal de este análisis fue ver reflejado el funcionamiento de la política original de abastecimiento, evaluar su nivel de cumplimiento y medir con métricas su desempeño.

4.4.1 Descripción de la política de inventarios

La política de inventarios de la empresa internamente se conoce como “sistema de mínimos”. Este sistema consiste en determinar un valor mínimo de existencia para cada

artículo en cada depósito o sucursal. Estos son los coloquialmente llamados “mínimos” equivalen al concepto de nivel máximo descrito por Ballou (2004), en el modelo de revisión periódica. En este trabajo el concepto de “mínimo” y nivel máximo son utilizados de manera indistinta. El valor del mínimo es elegido por la empresa con el fin de garantizar la satisfacción de la demanda y evitar los quiebres de stock.

El sistema de mínimos es gestionado independientemente por cada cadena, y en consecuencia también los envíos de stock a las sucursales. Las compras a los más grandes proveedores son coordinadas por la gerencia, en cambio las compras más pequeñas o a proveedores menos importantes son gestionadas por cada cadena de forma individual.

Para calcular el mínimo según este sistema, se toman en cuenta las ventas de cada producto en los meses previos a la temporada de verano. El criterio para definir los meses utilizados para el cálculo difiere entre cada cadena, para *Ámbito* es entre septiembre y noviembre, y para *Centro* entre septiembre y diciembre. El promedio de ventas en dicho período se ajusta a una demanda proporcional para 5 semanas.

A continuación, se muestra para las sucursales la expresión matemática en las ecuaciones (20) y (21) de lo explicado en los párrafos anteriores. Las expresiones $P_{i,SA}$ y $P_{i,SC}$, representan un producto i , en una sucursal de *Ámbito* (SA) o *Centro* (SC).

$$\text{Mín } P_{i,SA} = \frac{\text{Ventas de } P_{i,SA} \text{ entre sep y nov [unidades]}}{12 \text{ semanas}} * 5 \text{ semanas} \quad (20)$$

$$\text{Mín } P_{i,SC} = \frac{\text{Ventas de } P_{i,SC} \text{ entre sep y dic [unidades]}}{16 \text{ semanas}} * 5 \text{ semanas} \quad (21)$$

Se observó que la empresa considera para el cálculo que un mes contiene 4 semanas, cuando en realidad la cantidad de semanas en un mes es mayor (en promedio). De esta manera al calcular los mínimos se tienen en cuenta efectivamente más de 5 semanas de aprovisionamiento.

Para el caso de los depósitos, se consideran las ventas para todas las sucursales que les son correspondientes. Las ecuaciones (22) y (23) representan el cálculo de mínimos para los depósitos.

$$\text{Mín } P_{i,dA} = \sum_{SA} \frac{\text{Ventas de } P_{i,SA} \text{ entre sep. y nov [unidades]}}{12 \text{ semanas}} * 5 \text{ semanas} \quad (22)$$

$$\text{Mín } P_{i,dC} = \sum_{SC} \frac{\text{Ventas de } P_{i,SC} \text{ entre sep. y nov [unidades]}}{16 \text{ semanas}} * 5 \text{ semanas} \quad (23)$$

Siendo dA y dC los depósitos de Ámbito y Centro respectivamente.

Los mínimos se calculan, para un determinado año, según las ventas del año anterior. Estos cálculos pueden llegar a ajustarse manualmente según el criterio y la experiencia de la gerencia y los encargados de logística.

Los niveles de inventario son revisados una vez por semana, emitiendo, desde el software de gestión, el reporte de “falta”, definido en la identificación de actividades del proceso de entrega. Para obtener dicho reporte, se debe realizar una consulta manual en el software, y esto no implica la colocación directa de un pedido. Para el caso de las sucursales, en general se espera que el pedido que se genera y posteriormente se envía, sea similar al reporte de falta. En cambio, para los depósitos existen otros factores para emitir un pedido además de la falta, como ser descuentos especiales de los proveedores, bonificación del flete para compras que completen una unidad de carga (en general, un camión) y compras especulativas. En consecuencia, el pedido que se genera difiere del reporte de falta.

Relacionando la política explicada con la bibliografía de referencia, se pueden realizar las siguientes afirmaciones:

- La filosofía de inventarios se corresponde con el concepto *pull*, ya que las sucursales “tiran” según sus cantidades requeridas (ver 2.3).
- La política de inventarios es un modelo de revisión periódica (ver 2.3.3). El tiempo de entrega es determinístico para las sucursales y aleatorio según los proveedores externos para los depósitos.
- La cantidad de pedido no es una cantidad óptima obtenida en base a algún criterio, como determinado nivel de servicio medible o costos de inventarios medibles, sino está elegida en base a la experiencia de la gerencia y los encargados de logística.
- El período de revisión es de una semana tanto para sucursales como depósitos. Este periodo está definido en base a la experiencia de la empresa.

4.4.2 Cumplimiento de la política de inventarios de la empresa

El primer análisis fue el de cumplimiento de la política de inventarios. Se buscó saber si en la operación real de la empresa se respetó el sistema de abastecimiento a las sucursales que la gerencia estableció.

Para ello y, en base a los datos suministrados por la empresa, se comparó la cantidad enviada a una sucursal, es decir, las transferencias, con el reporte de falta correspondiente. Determinando así el cumplimiento, o no, del envío.

En primer lugar, se debió obtener el reporte de falta para cada semana en cada sucursal. Esto permitió saber la cantidad que se debió haber enviado. El reporte de falta a nivel del software es una consulta que genera una respuesta temporal. No se guarda ningún registro, de modo que no se cuenta con estos reportes directamente, y los mismos debieron ser recalculados. Para calcularlos se formula la ecuación (24), que determina la diferencia entre el mínimo y el stock.

$$Falta P_{i,S,t} = \text{Mínimo } P_{i,S} - Stock P_{i,S,t} \quad (24)$$

La expresión $Falta P_{i,S,t}$ representa la cantidad faltante para alcanzar el valor mínimo de un producto i , en una sucursal (o depósito) S , para una semana t . Se observó que la $Falta$ puede tomar ciertos valores comprendidos entre un valor mínimo y máximo. Como mínimo su valor puede ser cero, es decir, no hay artículos por enviar. Como máximo puede ser igual al $Mínimo$, es decir, no hay existencias del artículo.

Para comparar la $Falta$, con la $Transferencia$ se confeccionó la métrica que se muestra en la ecuación (25).

$$Incumplimiento envío \% P_{i,S,t} = \frac{Falta P_{i,S,t} - Transf P_{i,S,t}}{Mínimo P_{i,S}} * 100\% \quad (25)$$

El numerador de (25) puede tomar 3 valores: menor a cero, igual a cero y mayor a cero.

- Si es menor a cero, significa que se transfirió más de la cantidad requerida. Este caso no fue considerado para el análisis.
- Si es igual a cero, significa que se transfirió exactamente la cantidad requerida. Se definió a este caso como *cumplimiento*.
- Si es mayor a cero, la cantidad transferida no llegó a satisfacer los requerimientos. Se definió este caso como *incumplimiento*.

Luego, al dividirse por el $Mínimo$ de cada artículo, se obtiene un resultado relativo en lugar de un resultado absoluto medido en unidades de artículo. Esto se utilizó para cuantificar la “gravedad” en los incumplimientos. Por ejemplo, incumplir por una unidad en un artículo cuyo mínimo es 50 unidades no es equivalente a incumplir por esta misma cantidad en un

artículo cuyo mínimo son dos unidades. En el primer caso, el indicador arrojaría un resultado del 2% mientras en el segundo caso del 50%.

Se observó, además, que el peor caso de incumplimiento es cuando este indicador alcanza un valor del 100%, para que ello ocurra se deben dar dos condiciones: la falta tomó su valor máximo (igual al *Mínimo*) y no se transfirió ninguna unidad.

Este indicador se analizó sólo para aquellos casos donde $Falta P_{i,S,t} \neq 0$, es decir, cuando hubo pedidos por enviar.

Al calcular la métrica para cada producto i , en una sucursal, o depósito S , para una semana t , se obtuvo un conjunto de resultados, los cuales se muestran resumidos en la tabla Tabla 8.

Clasificación	# Incumplimientos	# Cumplimientos	Tasa de cumplimientos	Incumplimiento % Moda
Ámbito				
A	75,825	15,034	17%	100%
B	101,667	11,320	10%	100%
C	263,097	11,875	4%	100%
Centro				
A	30,658	20,874	41%	100%
B	32,375	13,792	30%	100%
C	53,309	15,560	23%	100%

Tabla 8: Cumplimiento de política para Ámbito y Centro. Fuente: Elaboración propia.

De los números indicados en la tabla, se observó lo siguiente:

- En el mejor de los casos, la tasa de cumplimientos fue del 41% (productos A, Centro).
- La mayoría de las veces, los incumplimientos fueron por una cantidad equivalente al 100% del mínimo, para todas las categorías de la clasificación ABC. Esto se refleja en la columna "Incumplimiento % Moda".
- La cadena Centro tuvo una tasa cumplimiento mayor comparando cada categoría entre ambas cadenas.
- Aunque internamente no existe una clasificación de los productos por importancia, los resultados mostraron que los productos más importantes (los categorizados como A en este trabajo) tuvieron mayor cumplimiento que los menos importantes (los B y C).

Dados los resultados, se observó un nivel bajo de cumplimiento de la política de abastecimiento a las sucursales. La empresa, por su parte, indicó que no percibió un nivel de incumplimiento bajo. Es decir que a pesar de no haber respetado de forma estricta el sistema,

se logró satisfacer la demanda en niveles generales, o al menos esta falta de cumplimiento no se vio reflejada en las percepciones de la gerencia. Bowersox et al. (2007) indica que una explicación a esta situación son los inventarios excesivos, ya que estos pueden compensar las deficiencias en el diseño básico de un sistema logístico.

4.4.3 Métricas de inventario para el esquema original

Previo al cálculo de las métricas se realiza una estimación de la demanda. Esta estimación es utilizada para medir el nivel de servicio. Para obtenerla se consideró las variaciones de stock entre semanas y las transferencias que recibió cada una de las sucursales. El cálculo se realizó con la ecuación (26).

$$\text{Demanda } P_{i,S,t} = \text{Stock } P_{i,S,t} - \text{Stock } P_{i,S,t+1} + \text{Transf } P_{i,S,t} \quad (26)$$

Donde i representa un producto, S representa una sucursal y t representa una semana. Las unidades vendidas, o demanda, para una semana en particular es la diferencia entre el stock de esa semana y la siguiente, además se le suman las transferencias realizadas ya que las unidades vendidas pueden ser repuestas antes de que comience la semana siguiente.

Antes de obtener los parámetros de la demanda, se realizó un análisis de *outliers* sobre los datos. Se buscó identificar y eliminar los valores atípicos. La existencia de valores atípicos en los datos pudo deberse a los ajustes manuales sobre el stock o a una demanda semanal puntual atípica respecto al resto del año.

Se repitió 3 veces la prueba de Grubbs (ver 2.4.1) sobre cada muestra para eliminar, si es que existieron, hasta 3 valores atípicos. El conjunto de muestras se constituyó por la demanda de cada artículo para cada sucursal. El tamaño de cada muestra fue de 51, ya que se contaba con la demanda para todo el año.

Se identificaron y eliminaron en total 49.165 datos, siendo aproximadamente el 4,6% del total de datos.

Inventario promedio

El inventario promedio fue calculado para cada depósito. Para su cálculo se utilizaron los valores históricos de inventarios. En la Tabla 9 se muestran los valores expresados en unidades monetarias.

Clasificación ABC	Valor inventario promedio [Millones de UM]	Valor relativo
Ámbito		
A	12.4	69%
B	3.7	21%
C	1.9	11%
Total	18.0	100%
Centro		
A	7.8	67%
B	2.5	21%
C	1.4	12%
Total	11.7	100%

Tabla 9: Inventario promedio original. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que la empresa no clasifica sus artículos internamente, se observó cómo los artículos A representaron la mayor parte del inventario promedio, rondando el 70% en ambas cadenas.

Rotación de inventarios

Para este análisis se consideraron los stocks a los días lunes de cada semana del año y las transferencias hechas desde el depósito central de cada cadena a las sucursales. El cálculo se realizó de forma separada para cada cadena. Se utilizaron los datos de los stocks promedio y la suma de las transferencias de todas las semanas, por artículo. Se calculó utilizando la ecuación (27).

$$Rotación P_i = \frac{\sum_t \sum_S Transferencias P_{i,S,Semana t}}{Stock promedio_i} \quad (27)$$

Donde t es el número de semana, S es una sucursal asignada al depósito particular del cálculo, e i corresponde a cada producto. El numerador representa las transferencias totales por artículo, considerando todas las sucursales y todas las semanas. El denominador considera el stock del lunes de cada depósito y lo promedia entre las 52 semanas del año (*Stock promedio*). Se observan los resultados obtenidos en la Tabla 10 (CV: coeficiente de variación).

Clasificación ABC	Media	Desviación	C.V.
Ámbito			
A	7.33	4.89	67%
B	5.49	4.47	81%
C	2.46	3.38	138%
Centro			
A	6.48	4.24	65%
B	4.99	4.03	81%
C	1.84	2.15	117%

Tabla 10: Rotación anual de inventario para Ámbito y Centro.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- Los niveles de rotación concordaron con la clasificación ABC propuesta, los artículos A fueron los de mayor rotación en todos los casos, seguidos por los artículos B y por último los artículos C.
- Los coeficientes de variación fueron mayores en los artículos C y menores en los A, por lo que las rotaciones presentaron mucha variabilidad para los artículos C. La interpretación de este resultado, es que los A fueron más homogéneos en la rotación, mientras que los C fueron más heterogéneos. Es decir, algunos C se movieron con rapidez, pero otros permanecieron almacenados mucho tiempo.
- La variabilidad general de las tres categorías observadas mediante el coeficiente de variación indicó que los niveles de rotación se encontraron dispersos alrededor de su media, siendo en todos los casos el CV mayor a 50%.

Nivel de servicio

El nivel de servicio mide con qué grado los productos estaban disponibles cuando un cliente los solicitó en una sucursal. En su definición, requiere conocer el número de unidades agotadas anualmente. Este valor es proporcional a la cantidad de semanas de desabastos por la media de la demanda esperada por cada semana. Teniendo esto en cuenta, se reescribe la ecuación (15) (expuesta en el Marco Teórico, sección 2.3.4) como la ecuación (28) para calcular el nivel de servicio para un producto i , en una sucursal S .

$$NS_{i,S} = 1 - \frac{\text{Cantidad de semanas en desabasto}_{i,S} \times \bar{d}_{i,S}}{\text{Demanda anual total}_{i,S}} \quad (28)$$

Una semana en desabasto se define como aquella en la que tanto el stock inicial como el final son cero y no se registran transferencias.

Los valores obtenidos se grafican en la Ilustración 12 para cada empresa, solo para los artículos A.

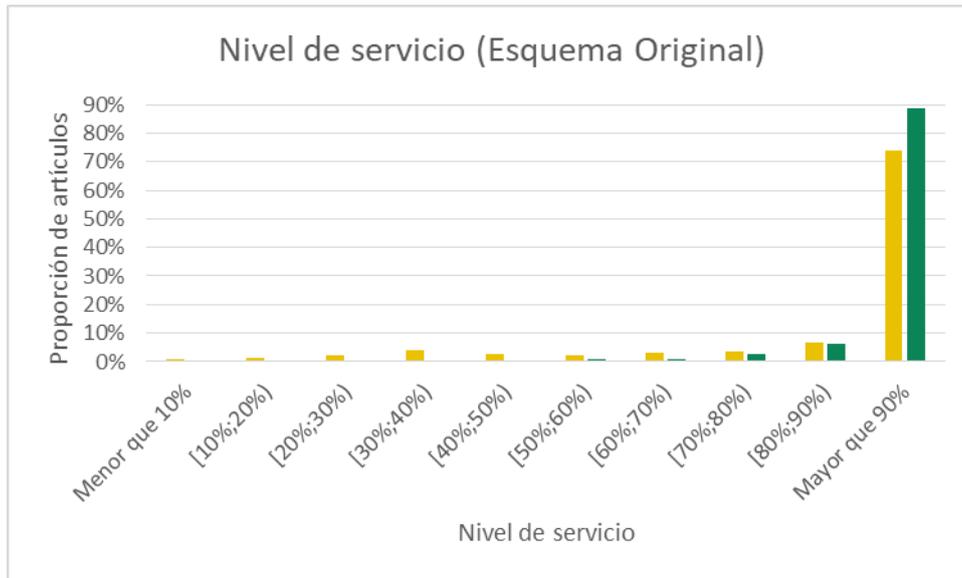


Ilustración 12: Nivel de servicio (Esquema Original). Fuente: Elaboración propia.

Para mejorar el análisis se reacomodaron los datos en nuevos intervalos de clase que faciliten la visualización de los datos cuando los valores de nivel de servicio se encontraron por encima del 90%. En la Ilustración 13 se observan los nuevos intervalos de clase.

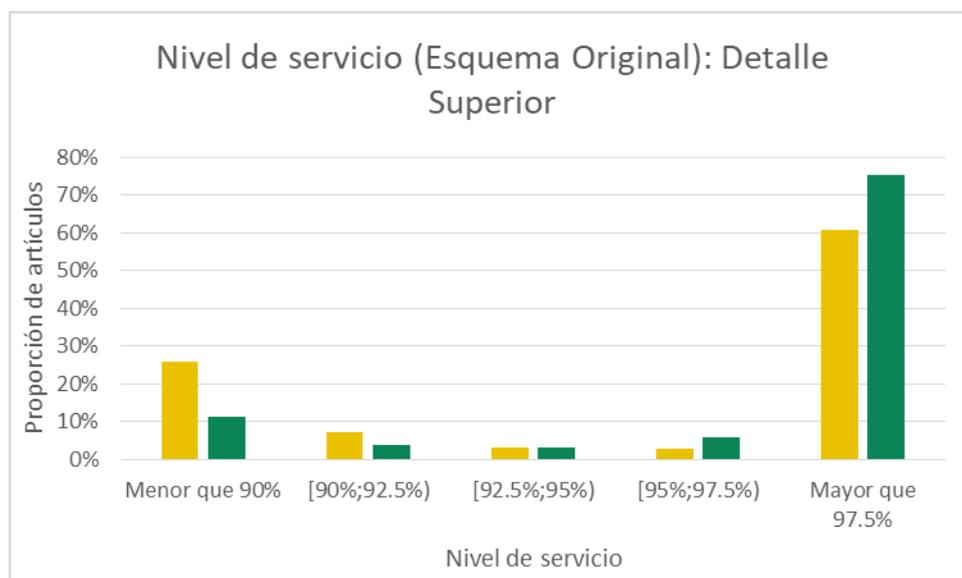


Ilustración 13: Detalle de nivel de servicio (Esquema Original): Detalle Superior.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- La moda se ubicó en el intervalo “Mayor que 97.5%” para ambas cadenas. Alcanzando el 60% en Ámbito y el 75% en Centro.
- El intervalo “Menor que 90%” incluyó al 25% de los artículos de Ámbito, estos se distribuyeron de forma dispersa en todos los intervalos (excepto el mayor) de la Ilustración 12. Para el caso de centro el mismo intervalo aglomeró el 10% de los artículos, con una distribución interna más cercana al intervalo superior en la Ilustración 13.
- Se observó que cadena tuvo un nivel de servicio similar.

4.4.4 Resumen del análisis del esquema original de inventarios

Las métricas calculadas reflejaron la situación original de la empresa en lo que respecta a inventarios, abastecimiento a sucursales y nivel de servicio.

En la sección 4.4.2 se observó que el nivel de acatamiento a la política vigente de abastecimiento fue deficiente. Teniendo en cuenta que la misma no estaba determinada de acuerdo a alguna teoría existente, se consideró apropiado reformular la política de inventarios utilizada por la empresa.

Si bien las causas de los incumplimientos pudieron ser ajenas a la política en sí misma, se evidenció la necesidad de una reformulación basada en conocimientos teóricos.

El nivel de servicio del esquema original fue satisfactorio, lo que indicó que aún con bajo cumplimiento, los productos fueron entregados a los clientes. Esto puede significar una gran cantidad de stock subyacente que se contraponga a los incumplimientos en la política.

Ballou (2004) propone un estándar estimativo de la rotación de inventario para un almacén de existencias. El valor propuesto es de 9 veces por año. Se observó en la Tabla 10 que el caso más alto de rotación registrado en la empresa fue de 7.33 veces por año, para el caso de los productos A en el depósito de Ámbito. Esto apoyó la idea del alto stock subyacente.

4.5 Revisión de la política de distribución

4.5.1 Esquema de distribución propuesto

La propuesta de transporte implicó desestimar el esquema original de asignación y reagrupar las sucursales según el criterio de minimizar la distancia recorrida por los vehículos.

Se tomó como hipótesis que esto mejoraría la distribución original. Los depósitos, por practicidad, seguirán siendo referidos como depósito Centro y Ámbito.

Se redondeó el envío promedio de las sucursales 16, 351 y 4 a 1,500 kg, ya que su valor es muy cercano. De esta forma pudieron ser asignadas a un vehículo de Centro si el programa lo consideraba conveniente. En conjunto para ambos depósitos, se obtuvieron según la Tabla 4 y la consideración anterior, aproximadamente 34,800 kg a repartir por semana.

Para determinar los requerimientos, se tomó como criterio repartir los kilogramos proporcionalmente con la capacidad volumétrica de cada depósito. Según datos obtenidos de la empresa, las capacidades son de $520 m^3$ y $964 m^3$ para Centro y Ámbito respectivamente. Este valor está referido al volumen bruto que ocupan las estanterías. Es decir, no tiene en cuenta el volumen ocupado por la propia estantería, el volumen ocupado por los pallets ni la forma en que se aprovecha el espacio de almacenamiento. A pesar de ello, cuantifica las diferencias en cuanto a las capacidades de almacenaje.

Teniendo en cuenta esta consideración, la proporción de envíos que asumieron Ámbito y Centro respectivamente son del 65% (22,620 kg) y 35% (12,180 kg) aproximadamente.

Para la nueva propuesta, se consideró mantener la asignación de vehículos. También se consideró que cada sucursal recibe su pedido de forma completa en un único viaje. Además, no se aplicaron restricciones de capacidad sobre el depósito.

A partir de esto, se asignaron 4 viajes con el vehículo de 6,000 kg para Ámbito y para Centro se asignaron 10 viajes con el vehículo de 1,500 kg. La solución que otorgó el programa se muestra en la Tabla 11.

	Depósito salida	Capacidad vehículo [KG]	Carga [KG]	Sucursales visitadas	Distancia [KM]
Ruta 1	Ámbito	6,000	5,922	2 - 488 - 17 - 301	24
Ruta 2	Ámbito	6,000	5,920	522 - 1 - 351	11
Ruta 3	Ámbito	6,000	5,465	524 - 57 - 51	5
Ruta 4	Ámbito	6,000	5,467	203 - 55 - 479	17
Ruta 5	Ámbito	2,000	1,774	52	6
TOTALES		26,000	24,548	14	63
Ruta 6	Centro	1,500	944	521	8
Ruta 7	Centro	1,500	810	487	4
Ruta 8	Centro	1,500	1,033	201	11
Ruta 9	Centro	1,500	806	519	4
Ruta 10	Centro	1,500	1,500	16	6
Ruta 11	Centro	1,500	1,474	53	8
Ruta 12	Centro	1,500	1,050	480	2
Ruta 13	Centro	1,500	1,151	520	8
Ruta 14	Centro	1,500	1,500	4	10
Ruta 15	-	-	-	-	-
TOTALES		13,500	10,268	9	61
TOTAL GLOBAL		39,500	34,816	23	124

Tabla 11: Rutas y reorganización propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Se concluyó que, para abastecer los pedidos semanales promedio de todas las sucursales, la flota de vehículos debe recorrer 124 km. Además, uno de los vehículos quedó sin asignación, por lo que se necesitan en total 14 viajes semanales.

Se concluyó también que, la capacidad de la flota de Centro no permite combinar viajes, tal como se había concluido en el análisis de la política original de distribución. Contrariamente, en Ámbito la combinación se da con mayor frecuencia. La capacidad de los vehículos es un recurso limitante en Centro.

Con estos resultados, la asignación propuesta de sucursales y depósitos se muestra en la Ilustración 14.

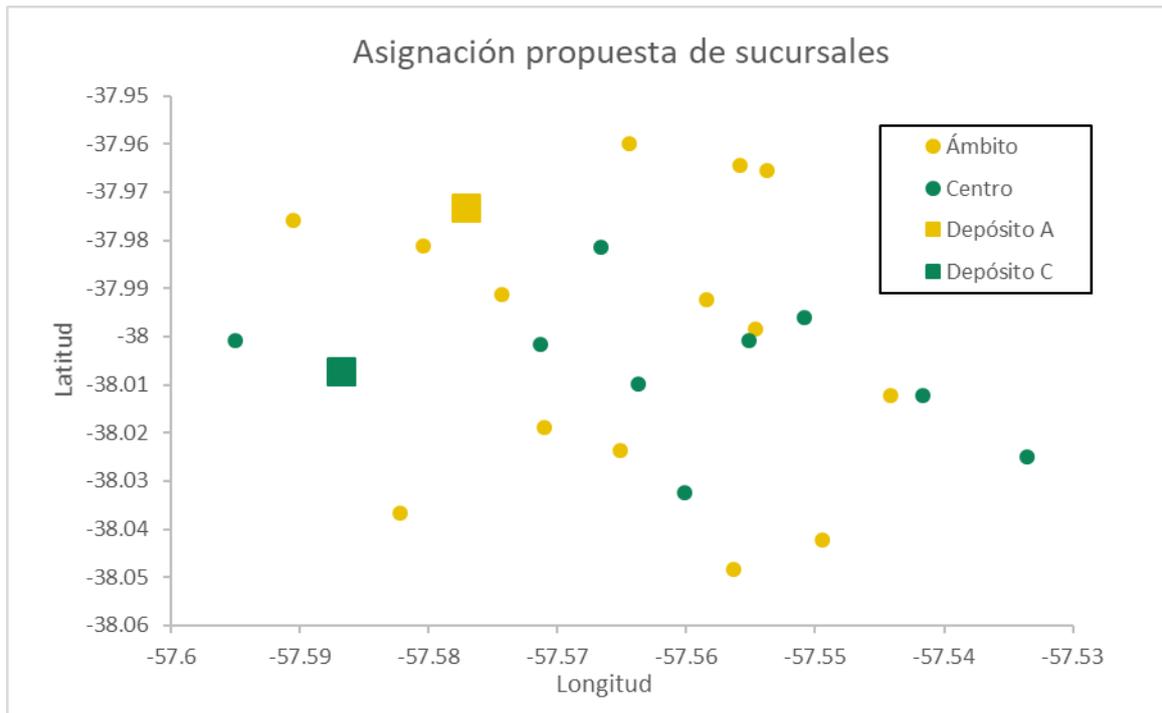


Ilustración 14: Asignación propuesta de sucursales. Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Comparativa de la propuesta con la situación original

En primer lugar, se calculó la mejora porcentual en distancia recorrida. La distancia recorrida para la situación original se obtuvo de la Tabla 6 y la Tabla 7. Luego se aplicó la ecuación (29).

$$\text{Mejora \% en distancia} = \left(1 - \frac{\text{Distancia esquema propuesto}}{\text{Distancia esquema original}}\right) * 100 \quad (29)$$

Se concluyó que, permitiendo reagrupar sucursales, es posible una mejora del 8% en la distancia recorrida de la flota de vehículos. Por otro lado, se calculó la distancia recorrida promedio por visita para cada depósito, según la ecuación (30).

$$\text{Distancia promedio por visita} = \frac{\text{Km recorridos}}{\text{Sucursales visitadas}} \quad (30)$$

Para la flota de Ámbito, con el nuevo esquema, se recorren en promedio 4.5 km por cada sucursal visitada, y para Centro 6.7 km. Este resultado obtenido indica que una mayor posibilidad de agrupar sucursales en un mismo viaje optimiza la distancia recorrida. Con el esquema de asignación original, el indicador resultó 5.1 km y 6.7 km de recorrido por sucursal visitada, para Ámbito y Centro, respectivamente.

Se extrae como conclusión, que en Centro el indicador no varió, debido en parte a la limitación de la flota, pero en Ámbito, la flexibilidad permitió su reducción. Por otro lado, el número de rutas se mantiene en 14 rutas semanales, respecto al caso base.

4.6 Revisión de la política de inventarios: Depósitos

En base a la nueva reorganización de sucursales propuesta y considerando lo expuesto en el análisis de la política de inventario, se propuso recalcular los valores de los niveles máximos en base al modelo propuesto por Ballou (2004) de revisión periódica descrito en la sección 2.3.3. Previo al recálculo de los niveles máximos, se calculó el tiempo de entrega del proveedor.

Luego se calcularon las métricas elegidas para el control de inventarios con los niveles máximos propuestos. Además se realizó una comparación en base a los litros de pintura almacenados entre la situación original y la situación propuesta.

Se agrega, por la facilidad de su cálculo y su utilidad para la empresa, el recálculo de los niveles máximos de las sucursales y se compara como estos valores cambian respecto de la situación original.

4.6.1 Estimación del tiempo de entrega por proveedor

El tiempo de entrega de un proveedor i para un pedido j se estimó con la ecuación (31). La distribución del tiempo de entrega se estima como normal y se define para cada proveedor con los parámetros media \overline{TE} y desviación S_{TE} .

$$\text{Tiempo de entrega}_{i,j} = \text{Fecha de entrega}_{i,j} - \text{Fecha de pedido}_{i,j} \quad (31)$$

El modelo utilizado considera el caso donde el tiempo de entrega del proveedor se conoce de manera determinista. Como en este caso es una variable aleatoria, se seleccionó aquel valor de tiempo de entrega, con una cierta probabilidad de ocurrencia definida. Se consideró un 95% de certeza en el tiempo de entrega del proveedor, es decir $\text{Probabilidad}(t \leq TE) = 0.95$. Para estas condiciones, se utilizó un $z = 1.64$. El nuevo valor de tiempo de entrega se indica como \overline{TE}' en la ecuación (32).

$$\overline{TE}' = \overline{TE} + z S_{TE} \quad (32)$$

4.6.2 Recálculo de niveles máximos: Depósitos

Se recalcularon los niveles máximos de todos los artículos para ambos depósitos. Estos fueron calculados en base a los requerimientos de las sucursales que abastecen bajo el esquema de distribución propuesto.

Para los cálculos se tomaron las siguientes consideraciones:

- La demanda de cada artículo fue considerada como la suma de las demandas de las sucursales.
- El modelo utilizado requirió que la demanda sea definida como variable aleatoria normal con parámetros media y desviación. Para estimarla, se utilizaron la media y desviación muestral del conjunto de datos de demanda calculados en 4.4.3.
- El tiempo de revisión se mantuvo en una semana para conservar la política interna de la empresa.
- Para el tiempo de entrega de los proveedores, se considera aquel tal que $Probabilidad(t \leq TE) = 0.95$.

Además, la ecuación (11) del cálculo de nivel máximo considera un valor z , que representa el número de desviaciones por encima de la media para cubrir cierta probabilidad P debajo de la curva normal. Esta es la probabilidad de poder suplir a la demanda con las existencias disponibles. El valor de z es obtenido de las tablas de la curva normal con base en la transformación inversa de la curva normal estándar.

Se seleccionó P de acuerdo a la clasificación ABC de los artículos.

- Para artículos A $P = 0.95$ luego $z = 1.64$.
- Para artículos B $P = 0.925$ luego $z = 1.44$.
- Para artículos C $P = 0.9$ luego $z = 1.28$.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente descritas se estimaron los niveles máximos para todos los artículos en ambos depósitos, considerando la reorganización de sucursales propuesta. Se analizó el cambio en el nivel máximo para todos los artículos y se obtuvo la distribución que se muestra en la Ilustración 15.

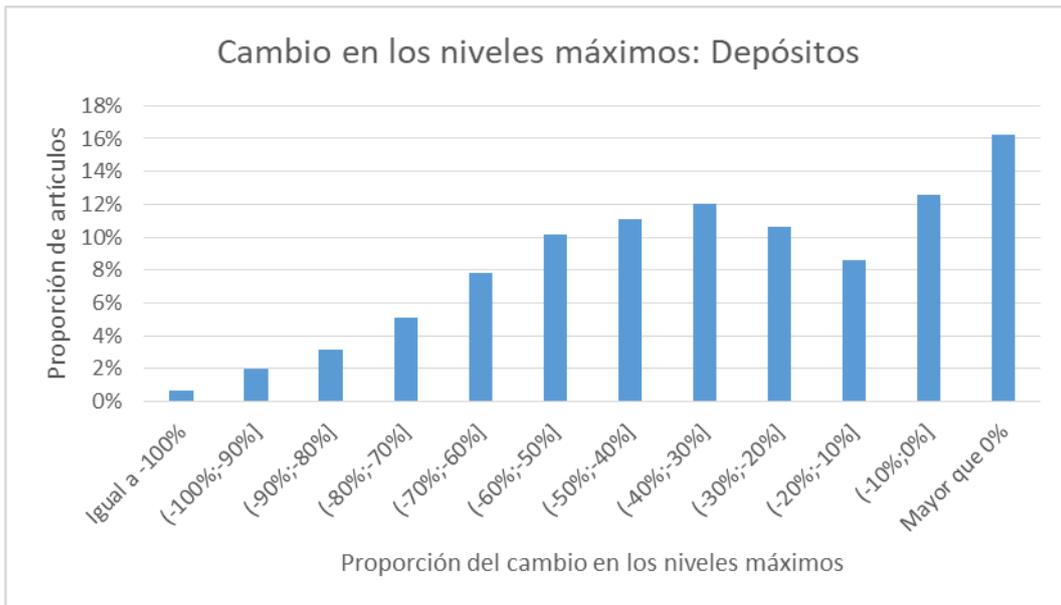


Ilustración 15: Cambio en los niveles máximos: Depósitos. Fuente: Elaboración propia.

Interpretaciones:

- Una mejora “Igual al -100%” supone que el nivel máximo pasa a ser cero. Esto sucede cuando tanto la media como la desviación de la demanda son cero. En ciertos productos con demanda esporádica (mayoría de períodos sin demanda), el análisis de *outliers* consideró a los valores distintos de cero como atípicos y los elimina. Para estos casos particulares se tomó la consideración de asignar como nivel máximo, el valor más alto de la demanda real.
- El intervalo (-10%; 0%] representa los niveles máximos que se mantuvieron contantes o que a lo sumo disminuyeron en un 10%.
- Por último, una mejora “Mayor que 0%” representa aquellos casos en los que el nivel máximo aumentó en lugar de disminuir.

En resumen:

- Los niveles máximos disminuyeron en un 50%, o más, para el 40% de los artículos.
- Un 13% de los artículos no vieron afectado su nivel máximo, o este disminuyó a lo sumo 10%
- Solo un 16% de los artículos aumentaron su nivel máximo por encima de su valor original.

4.6.3 Métricas de inventario para el esquema propuesto

Inventario promedio

El inventario promedio para la nueva política se calculó según la ecuación (13) expuesta en la sección 2.3.4, que corresponde al cálculo de esta métrica para el modelo de revisión periódica. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

Clasificación ABC	Valor inventario promedio [Millones de UM]	Valor relativo
Ámbito		
A	3.6	80%
B	0.7	16%
C	0.2	4%
Total	4.5	100%
Centro		
A	2.1	81%
B	0.4	15%
C	0.1	4%
Total	2.6	100%

Tabla 12: Inventario promedio (Esquema propuesto).

Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- Los valores relativos de los inventarios promedio se acomodaron de forma acorde a la distribución de los artículos según la clasificación ABC, en ambas cadenas.

Rotación de inventario

La rotación de inventario se calculó para los tres segmentos de la clasificación ABC en base a la reorganización de sucursales y con los niveles máximos propuestos se muestra en la Tabla 13 (CV: coeficiente de variación).

Clasificación ABC	Media	Desviación	C.V.
Ámbito			
A	18.51	7.85	42%
B	13.84	7.04	51%
C	9.07	5.07	56%
Centro			
A	15.97	8.49	53%
B	12.39	7.38	60%
C	7.74	5.27	68%

Tabla 13: Rotación de inventario (Esquema propuesto).

Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- El nivel de rotación fue congruente respecto a la clasificación ABC, siendo los artículos A los que tuvieron más alta rotación en ambas cadenas.
- Lo mismo sucedió con los CV. siendo la variación de la desviación, respecto a la media, menor en los artículos A.

Nivel de servicio

El nivel de servicio para los artículos A con los niveles máximos propuestos se muestra en la Ilustración 16. Al igual que con los gráficos anteriores de nivel de servicio se realizó un histograma con el detalle en el último intervalo, se muestra en la Ilustración 17.

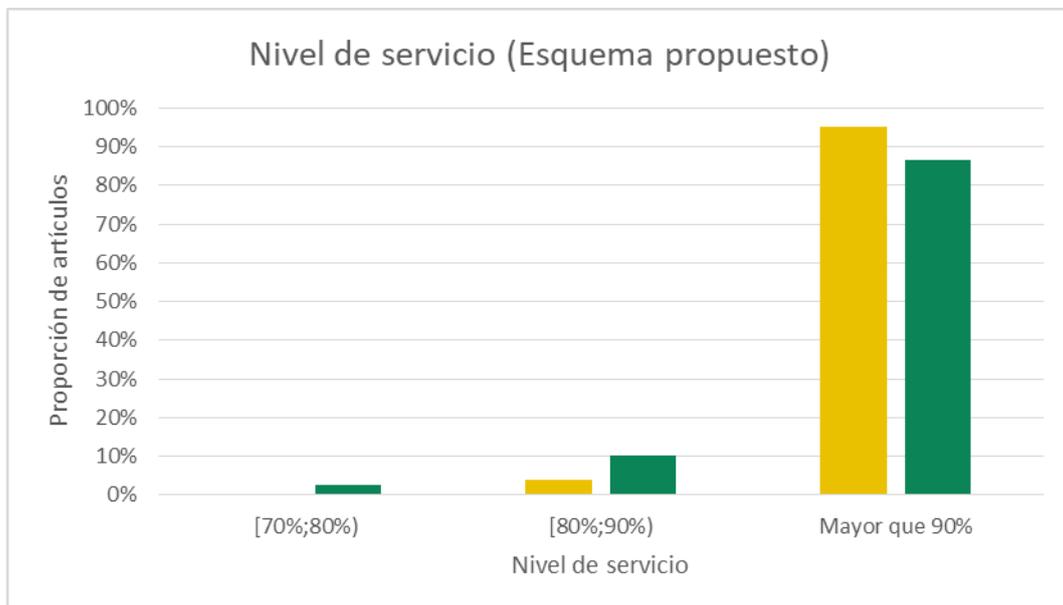


Ilustración 16: Nivel de servicio (Esquema propuesto). Fuente: Elaboración propia.

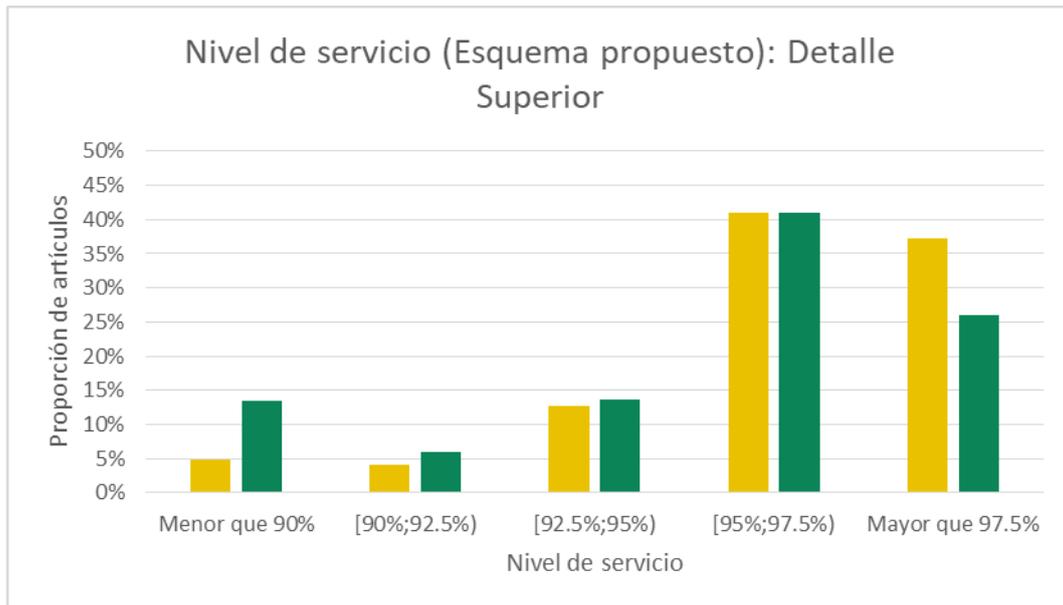


Ilustración 17: Nivel de servicio (Esquema propuesto): Detalle Superior.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- El 95% de los artículos de Ámbito y el 85% de los artículos de Centro tuvieron un nivel de servicio mayor a 90%.
- La moda para ambas cadenas fue el intervalo [95%; 97.5%), con 45% para Ámbito y 40% para Centro.
- El nivel de servicio fue mayor al 97.5% para 29% de los artículos en Ámbito y para 22% de los artículos en Centro.

4.6.4 Comparativa de la propuesta con la situación original

En la Tabla 14, la Tabla 15 y en la Ilustración 18, se muestra la comparativa de inventario promedio, rotación de inventario y nivel de servicio, respectivamente.

Clasificación ABC	Valor inventario promedio actual [Millones de UM]	Valor inventario promedio propuesto [Millones de UM]	Relacion Inv. Propuesto/Actual
Ámbito			
A	12.40	3.60	29%
B	3.70	0.70	19%
C	1.90	0.20	11%
Total	18.00	4.50	25%
Centro			
A	7.80	2.10	27%
B	2.50	0.40	16%
C	1.40	0.10	7%
Total	11.70	2.60	22%

Tabla 14: Comparación de inventario promedio. Fuente: Elaboración propia.

Clasificación ABC	Original			Propuesta		
	Media	Desviación	C.V.	Media	Desviación	C.V.
Ámbito						
A	7.33	4.89	67%	18.51	7.85	42%
B	5.49	4.47	81%	13.84	7.04	51%
C	2.46	3.38	138%	9.07	5.07	56%
Centro						
A	6.48	4.24	65%	15.97	8.49	53%
B	4.99	4.03	81%	12.39	7.38	60%
C	1.84	2.15	117%	7.74	5.27	68%

Tabla 15: Comparación de rotación de inventario. Fuente: Elaboración propia

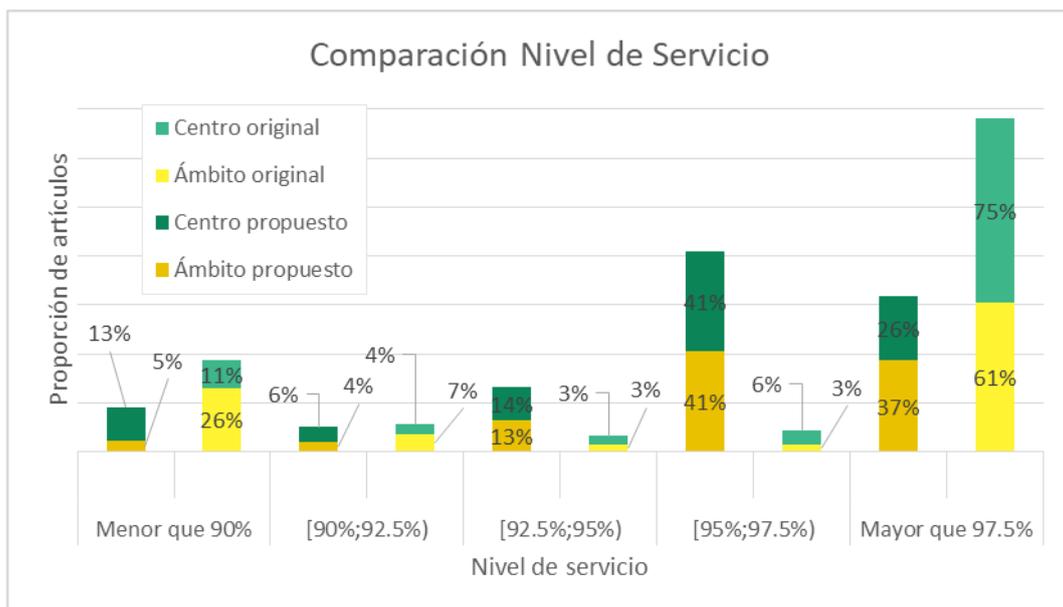


Ilustración 18: Comparación en el nivel de servicio. Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio promedio de cada cadena se modificó mayoritariamente en los últimos dos intervalos de clase. En la clase [95%; 97.5%), con el nuevo esquema se produjo un aumento de la proporción de productos del 35% aproximadamente para ambas cadenas. En la clase “Mayor que 97.5%” Ámbito redujo la proporción de artículos un 24% y Centro aproximadamente un 40%. Otro cambio importante es la reducción de un 21% de la proporción de artículos en la clase “Menor que 90%” para Ámbito.

El nivel de servicio para el modelo propuesto es una variable controlable que se determina a través del parámetro P . Dicho parámetro, que corresponde a la probabilidad de abastecer a un cliente con el inventario físico disponible, se determinó para cada categoría A, B y C con los valores de 0.95, 0.925 y 0.9 respectivamente. Se consideraron estos valores apropiados según la importancia relativa de cada producto, aunque pueden ser revisados por la empresa si decide seguir utilizando el modelo.

Cabe aclarar, que el nivel de servicio se determina a través de P , pero no es exactamente dicho valor. Su cálculo involucra la cantidad de unidades agotadas, que depende de la demanda de cada artículo además de P , y es por ello que arroja una distribución, mostrada en el desarrollo a través de distintos gráficos.

El inventario promedio se ve reducido fuertemente, siendo el total aproximadamente una cuarta parte del inventario promedio original. Los artículos A bajan su inventario promedio hasta alcanzar entre el 25% y el 30% del valor original. Los artículos B llegan al nivel del 20%. Los artículos C pasan a ser una décima parte del inventario original. Este resultado indica que, con el nuevo esquema, se necesita mantener una cantidad considerablemente menor en el depósito de cada artículo, para alcanzar el nivel de servicio deseado.

La rotación de inventarios aumenta para todas las categorías en ambas cadenas. Con el esquema propuesto de niveles máximos, los productos permanecen menos tiempo inmovilizados, cumpliendo el nivel de servicio estipulado. La variabilidad de cada categoría disminuye en todos los casos. Este resultado era esperable luego de la fuerte reducción del inventario promedio. El esquema original implica un gran volumen de inventario promedio y en consecuencia baja rotación, mientras que el propuesto implica sólo el inventario necesario y rotaciones comparativamente altas. La principal ventaja, en congruencia con lo dicho en el párrafo anterior, es una menor cantidad de capital inmovilizado.

4.6.5 Comparativa de litros de pintura almacenados

Para poder visualizar el impacto del cambio en los niveles máximos se calculó un indicador que es de uso común dentro de la organización. Este es conocido coloquialmente como cantidad en litros de pinturas, y se adapta, según sea de interés, para el área de ventas, compras o logística. En general se utiliza para medir objetivos de ventas intermensuales o fijar

objetivos de ventas con los proveedores, pero dentro de los depósitos representa el volumen total de pinturas almacenado.

Cabe aclarar que el requerimiento volumétrico se realiza en base al contenido neto de los artículos y no respecto del volumen real que ocuparía una unidad almacenada teniendo en cuenta envases, embalajes, forma de almacenar, etc. Si bien no mide el requerimiento real de espacio del inventario, si da una idea aproximada.

El resultado de la comparación se observa en la Tabla 16.

	Cantidad de pintura a almacenar: Esquema original [Miles de litros]	Cantidad de pintura a almacenar: Esquema propuesto [Miles de litros]	Disminución de requerimiento volumétrico [%]
Deposito Ámbito	244	194	-20%
Deposito Centro	101	70	-31%

Tabla 16: Comparación de requerimiento volumétrico. Fuente: Elaboración propia.

Para su cálculo y comparación se utilizó el volumen que almacenado por artículo. Para el esquema original se multiplicó este valor por los niveles máximos originales, y con el esquema propuesto se multiplicó por los niveles máximos propuestos.

En ambas cadenas se observa una notable disminución en la cantidad de litros de pintura a almacenar. Cabe aclarar que la cantidad de pintura a almacenar de cada depósito está fuertemente influida por la redistribución de sucursales propuestas.

4.6.6 Recálculo de niveles máximos: Sucursales

Para profundizar el desarrollo del modelo a todos los niveles de la logística interna de la empresa y proponer una solución más sistémica, se agregó esta sección al trabajo.

Al igual que con el recálculo para los depósitos, el periodo de revisión no es modificado respecto de la política vigente de la empresa, para no modificar la estructura de distribución original. No obstante, el modelo elegido propone establecer el periodo de revisión más óptimo, en relación a los costos de inventario (ver sección 2.3.3).

Además, se supone el tiempo de entrega como cero, ya que el pedido de las sucursales es emitido y enviado el mismo día, por el depósito que atiende a la sucursal.

Aplicando el modelo de revisión periódica con demanda incierta se recalcula el nuevo punto de nivel máximo para las sucursales de cada cadena.

En la Ilustración 19 se muestra el cambio en el punto de nivel máximo en todas las sucursales de la empresa, sin distinguir a que cadena pertenece cada una, sólo para los artículos A.

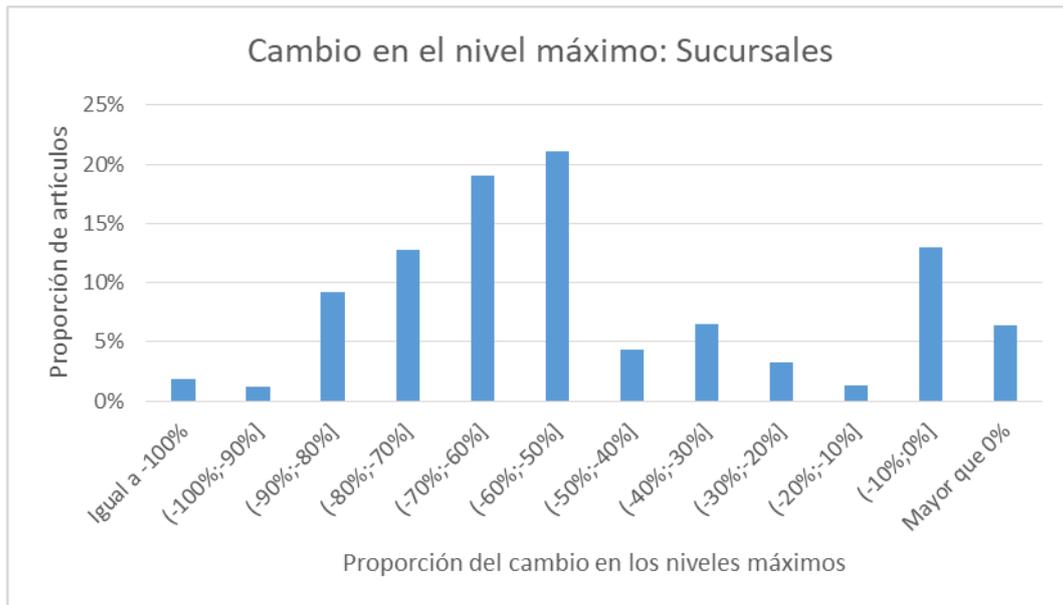


Ilustración 19: Mejora en el nivel máximo. Fuente: Elaboración propia.

En resumen:

- Los niveles máximos disminuyen en un 50% o más para el 65% de los artículos.
- La moda se encuentra en el intervalo (-60%; -50%], con un 21% de los artículos.
- Un 13% de los artículos no ven afectado su nivel máximo, o este disminuye a lo sumo 10%
- Solo un 6% de los artículos aumentaron su nivel máximo por encima de su valor original.
- Finalmente, un 2% de los artículos disminuyen su nivel máximo a 0.

4.7 Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica (MOGIT)

Con base al modelo propuesto del OTEC, en las siguientes secciones se plantea la aplicación del mismo a ambas cadenas de pinturerías. Se tuvieron en cuenta los cinco elementos claves del modelo, y las herramientas para cada uno descritas en la sección 2.5.1.

4.7.1 Elemento FOCALIZAR

Para el elemento FOCALIZAR la herramienta seleccionada fue el análisis DAFO. Dicho análisis se muestra en la Tabla 17.

Fortalezas	Oportunidades
<p>Ser líder conjunto del mercado en la ciudad, y la zona, con las dos marcas comerciales que componen la empresa.</p> <p>Alto nivel de ventas.</p> <p>Estructura económica fuerte.</p> <p>Estructura logística propia.</p> <p>Personal familiarizado uso de software para apoyo a la gestión logística.</p> <p>Para la mayoría de los proveedores es un cliente importante.</p>	<p>Expansión geográfica.</p> <p>Amplia oferta de softwares de gestión integral y logística.</p> <p>Bonificaciones por volumen de compra.</p>
Debilidades	Amenazas
<p>Altos niveles de inventarios.</p> <p>Quiebres de stock constantes.</p> <p>Altos gastos en transporte.</p> <p>Exceso de compras especulativas o por fuera encima de los niveles máximos.</p> <p>Mantención de dos estructuras independientes de logística y almacenamiento.</p> <p>Gran número de artículos.</p> <p>Ausencia de registros históricos fiables de información logística.</p> <p>Período de actualización de los parámetros de sistema, demasiado largo.</p>	<p>La competencia comercializa los mismos productos que la empresa.</p> <p>Fuerte competencia en precios de ventas.</p> <p>Altos costos de distribución.</p>

Tabla 17: Análisis DAFO, elemento FOCALIZAR. Fuente: Elaboración propia

Se observó en el análisis la alta influencia de la logística y como su manejo ineficiente afecta a la empresa, generando quiebres de stock, altos niveles de inventario y elevados gastos de transporte. El sostenimiento en el tiempo de dos estructuras logísticas independientes, y su poca optimización, no favorecen a la empresa debido a la alta competencia basada en precios de venta. Sin embargo, la venta al público bajo dos nombres comerciales permite a la empresa ostentar una posición cómoda en el mercado, siendo el líder en el segmento en el cual compite a nivel local.

La expansión geográfica se evidencia en una creciente cantidad de sucursales de la cadena en la ciudad de Mar del Plata. Esto en parte es gracias a su fuerte posición económica,

resultado no solo del éxito de las pinturerías sino también de otros activos de la cartera. Esta fortaleza económica además le permite obtener descuentos por compras grandes y realizar compras de especulativas.

4.7.2 Elemento VIGILAR

Auditoría tecnológica

La empresa utiliza originalmente el software informático Presea, provisto por la empresa argentina Neuralsoft, para la gestión integrada de todas las áreas de la organización. La tecnología mencionada es contratada externamente. No posee ningún otro activo tecnológico.

Las funcionalidades adquiridas a través de licencias son las siguientes:

- Ventas: Facturación, emisión de presupuestos, gestión de comisiones por vendedor en base a ventas u objetivos.
- Compras: Carga de listas de precios y descuentos por proveedor, emisión de órdenes y pre-órdenes de compras en base a listas de precios, recepción de órdenes de compras.
- Stock y logística: Definición de artículos y sus atributos, costos, nivel de inventarios por depósito, definición y cálculo (en base a rotación de inventario) de niveles mínimos por artículo y depósito, requerimientos de stock en base a los niveles definidos.
- Contaduría: Apertura y control de cuentas corrientes, realizar informes contables y asientos contables, administración de bienes de usos, gestión impositiva.
- Finanzas: Gestión de inversiones, cuentas bancarias, arqueos de caja, evaluación de flujos de caja, estado de situación patrimonial.
- Recursos Humanos: Pre-liquidación y liquidación de sueldos.
- Tecnologías específicas que utiliza: Encriptación de datos, utilización de servidores externos, acceso remoto a la aplicación.

Limitaciones del software:

El software integra los elementos necesarios para la administración completa de una empresa, sin embargo, no profundiza en algunas áreas, para este análisis en particular, la administración logística resulta rudimentaria.

Específicamente, el cálculo de niveles mínimos y máximos, y la posibilidad de establecer variaciones en el tiempo de estos (los valores cargados permanecen estáticos hasta su cambio manual).

Además, no permite definir otras políticas de inventarios basadas en características particulares de la demanda. Tampoco toma criterios de costos o niveles de servicio en los cálculos. Como se aclaró anteriormente sólo están basados en la rotación.

Tampoco posee un módulo de ruteo para planificar la distribución desde los depósitos a las sucursales.

Por otro lado, no guarda registro del reporte de falta. Por lo tanto, no es posible realizar comparativas posteriores entre las necesidades calculadas en la falta y sus correspondientes envíos.

Estas cuestiones son específicas de la administración logística, por lo que, al realizar la vigilancia tecnológica, se tuvieron en cuenta tanto la implementación de nuevos programas específicos que complementen el software original, como también software de gestión empresarial con mayor orientación a logística que permitieran reemplazar el original.

Vigilancia Tecnológica: Selección de propuestas y criterios

En las siguientes secciones se describen las alternativas localizadas en el mercado para abordar las limitaciones identificadas en la tecnología original de la empresa.

Para el análisis se detallaron las principales funcionalidades de las alternativas, y luego se realizó una calificación de forma cualitativa en los siguientes criterios:

- Costo mensual
- Inversión en equipos informáticos (de ser necesario)
- Magnitud del cambio que requiere la incorporación tecnológica
- Grado de respuesta a las necesidades originales
- Soporte en español de las herramientas.
- Necesidades de capacitación.
- Costo de capacitaciones

Finalmente, y haciendo un sumario del relevamiento, se eligió la propuesta considerada viable.

Herramienta Track-pod: descripción básica en base a sitio web.

Track-pod es un software de repartos. Cuenta con una aplicación móvil que monitorea el desempeño de cada vehículo, junto con un software de planeamiento de rutas que permite diseñarlas con facilidad. La aplicación telefónica evita el uso de GPS para confirmar entregas, además de permitir monitorear la actividad de la flota en tiempo real.

Funcionalidades específicas:

- Confirmación del envío con firmas sobre el celular (opcional).
- Ruteo óptimo, a la vez que se obtiene la máxima carga para los vehículos.
- Integración con sistemas ERP

Criterios para las puntuaciones:

El software es de pago mensual, siendo el costo de la licencia de u\$s23 por vehículo por mes, con las principales funcionalidades.

Dado que el programa ofrece tanto una versión móvil para los choferes, como una versión de escritorio para la gestión, el costo del equipamiento informático depende si se elige implementar todas las funcionalidades. En este caso, cada chofer debe tener un teléfono móvil. De lo contrario se puede implementar con las computadoras originales.

Implementar este programa requiere agregar una tarea más al trabajo de los involucrados en transporte. Por otra parte, no se requiere cambiar el software ERP vigente, pudiendo integrarse con el mismo.

El software solamente aborda el problema de enrutamiento de vehículos, con la opción de incorporar una gestión más integral de las distribuciones. Para abordar la totalidad de problemáticas habría que implementar otra herramienta para la gestión de inventarios.

No tiene soporte en español, ni un programa de capacitación a clientes. Por lo que se debe asignar un responsable para que se interiorice en el uso de la herramienta quien luego capacitará a los futuros usuarios dentro de la empresa.

Programación mediante Google OR-TOOLS

Esta es la herramienta que se utilizó para los análisis realizados en el presente trabajo. Su funcionalidad principal es crear y ejecutar ficheros escritos en lenguaje Python, los cuales contienen código ejecutable con instrucciones para resolver el problema de ruteo.

En cuanto a los costos, es totalmente gratuita. Se puede utilizar en cualquier computadora que posee la empresa.

En cuanto a las capacitaciones, la empresa debe optar por capacitaciones externas con expertos en VRP y utilización de Python. El usuario debe poder modificar el código en base a las necesidades propias del problema planteado por la empresa.

Por otra parte, implementar esta herramienta requiere aprendizajes de programación básica en sus usuarios, aunque el software ERP vigente seguirá siendo utilizado.

Esta tecnología solo resuelve el problema de enrutamiento, con una interfaz de usuario rudimentaria.

No existe un soporte ya que lo que hace esta herramienta es utilizar un lenguaje de programación con funcionalidades extra para realizar ruteo.

Netsuite ERP: descripción básica en base a sitio web

NetSuite ERP es un programa de planeación de recursos empresariales desarrollado por la empresa Oracle, focalizado en la administración de inventarios. Tiene los siguientes módulos:

- Administración financiera: administración de cuentas y activos financieros, facturación, presupuestos.
- Administración de pagos e impuestos.
- Planificación de la demanda
- Control de inventarios y sistema de administración de depósitos
- Gestión de compras y proveedores.
- Gestión de recursos humanos

En cuando al módulo de inventarios, permite gestionar todos los artículos, en una o múltiples ubicaciones, asegurando existencias necesarias para abastecer la demanda. También puede calcular la demanda y hacer predicciones utilizando el módulo planificación de la demanda, que analiza los datos históricos y genera pronósticos basados en registros semanales o mensuales. Una vez que se establece la planificación de la demanda, comienza el proceso de planificación del suministro con el método que se quiera para determinar el volumen de pedidos y el momento de hacerlos.

Criterios para las puntuaciones:

En cuanto a los costos de esta herramienta, son variables según el tipo y tamaño de empresa. Se obtiene de otras fuentes, un costo aproximado de u\$s999 mensuales la licencia del programa y u\$s99 por usuario por mes.

El programa se ejecuta en servidores propios de Oracle, siendo necesario solamente acceso a un navegador web.

Existen posibilidades de capacitación en español, la cual tiene un costo extra.

En cuanto a la afinidad con las necesidades detectadas, esta herramienta aborda sustancialmente el problema de la gestión de inventarios. Además, posee el valor agregado de tener funcionalidades referidas a gestión del depósito. Esto implica estrategia de distribución de estanterías, estrategias de consolidado de pedidos, planificación de tareas del depósito.

Implementar esta herramienta, supone reemplazar el software ERP original. Esto implica un cambio transversal a toda la organización y necesidades de capacitación masiva.

Deonics – descripción básica en base a sitio web:

Deonics es un software diseñado para cubrir las necesidades específicas de transporte y logística, grandes almacenes y organizaciones que operen con flotas de

vehículos propios. Esta desarrollado por la misma empresa del ERP vigente. El programa posee 3 módulos:

- Transporte: visualización de pedidos, seguimiento de vehículos y choferes. Posibilidad de incorporar seguimiento en tiempo real con GPS.
- Flota: gestión del mantenimiento de vehículos, trazabilidad de envíos, desempeño por vehículo, determinación de los costos.
- Depósito: posibilidad de elegir entre diversos sistemas de gestión de stocks. Gestión de almacenamiento. Cálculo de métricas e indicadores.

Criterios para las puntuaciones

En cuanto el costo de adquisición de la herramienta, este es de aproximadamente US\$35 mensuales por usuario.

El equipamiento informático para implementar la herramienta, es el mismo que la empresa posee originalmente.

Las capacitaciones están incluidas en el costo mensual, en español.

Aborda las necesidades originales tanto de ruteo como de gestión de stocks, aunque sin ser exhaustivas.

Se requiere capacitación para los usuarios de la herramienta. Se mantiene el ERP de la organización.

Selección de alternativas

En la Tabla 18 se muestra la ponderación realizada de las alternativas tecnológicas propuestas.

Criterios	Peso relativo	Track-pod	OR-Tools	Netsuite ERP	Deonics
Costo mensual	0.15	2	4	1	2
Inversión en equipos informáticos	0.05	2	4	4	4
Magnitud del cambio	0.20	3	2	1	2
Respuesta a las necesidades actuales	0.25	3	2	4	3
Soporte disponible	0.10	1	1	4	4
Necesidad de capacitaciones	0.15	2	1	1	3
Costo de capacitaciones	0.10	1	2	2	4
Puntuación total	1	2.25	2.15	2.3	2.9

Tabla 18: Matriz de selección de alternativas tecnológicas. Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron como criterios principales un nivel de cambio bajo y una alta satisfacción de las necesidades originales, que la herramienta vigente no abordaba.

Con este esquema, se consideró que el ERP original no debía ser reemplazado por otro. Lo óptimo fue elegir una alternativa que solucione el problema de ruteo y a la vez mejore la gestión de inventarios.

Por lo expuesto, se consideró que la mejor alternativa sería el software Deonics. Al implementarse el mismo, este produce cambios mínimos en la estructura de la empresa, cumpliendo satisfactoriamente las necesidades planteadas. Además, los costos resultaron competitivos en comparación con el resto de las alternativas. Por otra parte, la capacitación debe impartirse solamente a los involucrados en logística, y el contacto de soporte que otorga es el mismo que para el software original, ya que es desarrollado por la misma empresa

4.7.3 Elemento capacitarse

El software seleccionado en la sección anterior contribuye a mejorar el conocimiento de las personas en la empresa, a través de sus funcionalidades.

Mediante los reportes analíticos de tiempos y de costos de los traslados, se genera un mayor control y se evidencia el impacto del transporte en la estructura global de costos. De esta forma, se comprende la importancia de utilizar herramientas de optimización, y se visibiliza el ahorro en los costos a lo largo del tiempo. Esto es vital para que la organización aprenda a manejar y optimizar su cadena logística.

El software seleccionado posibilita la diagramación y visualización física del depósito, junto con la identificación de las posiciones y la rotación del inventario asociado a cada una. Esto permite comprender la importancia de sistematizar el almacenaje para hacer más eficiente los procesos de *picking* y armado. Mediante esta herramienta se generan nuevos conocimientos sobre las mejores prácticas de almacenaje para la situación particular de la empresa.

En el presente trabajo se aplicaron técnicas las cuales pueden ser tomadas en la empresa para generar nuevo conocimiento. En primer lugar, se determinaron indicadores que la empresa puede incorporar a su diaria para evaluar su desempeño logístico. Es el caso del cumplimiento de la política, rotación de inventario, stock promedio y nivel de servicio. Se prevé que la empresa calcule estos indicadores a través de la propuesta de software elegida, generando el conocimiento interno de gestión logística en base a indicadores.

Por otra parte, se ha calculado la demanda y en base a esta se plantearon nuevos niveles máximos de stock, que mejoran las métricas tomadas manteniendo el nivel de servicio constante. La empresa debe conocer su demanda y utilizarla para ajustar los niveles de stock pertinentes para su contexto interno y externo. Si bien el ERP original tiene la posibilidad de conocer la demanda a través de consultas, esto no es aprovechado.

4.7.4 Elemento implantar

A continuación, se describen los problemas y potencialidades que se perciben para la implantación tanto del software como de las nuevas propuestas de abastecimiento y distribución.

En cuanto al software, se prevé que sea utilizado por los encargados de depósitos y sus correspondientes supervisores. El éxito en la implantación depende del grado de predisposición y capacidad del personal para enfrentar el cambio que supone hacer las cosas de una forma distinta.

Para implantar el software primero se deben estandarizar los procesos en lo que se refiere al menos a: selección de indicadores logísticos, frecuencia de medición, frecuencia de revisión de niveles máximos y designación de rutas de reparto. Luego pueden definirse los procesos del resto de funciones del software. Esto puede ser un obstáculo si se tiene en cuenta que los procesos deben ser únicos para la empresa. La separación física original de los depósitos requiere un proceso de estandarización más complejo donde se mezclan las costumbres y las culturas organizacionales.

Respecto a la propuesta de niveles máximos, el éxito en la implantación depende del nivel de cumplimiento de la política adoptada y de la coordinación de los procesos logísticos internos. Ya que el inventario promedio se disminuye con los niveles propuestos, no habrá artículos almacenados para cubrir incumplimientos o errores internos. Dado el bajo nivel de cumplimiento que se midió en el presente trabajo, deben realizarse ajustes para evitar quiebres de stock y desabastos.

Debe prestarse especial atención a aquellos productos que frecuentemente son parte de compras de oportunidad o especulativas. Con los niveles máximos propuestos, el espacio ocupado del almacén se reduce, lo que da lugar a mayor espacio para stock de compras especulativas. Sin embargo, las compras con este fin operan en contra de las mejoras propuestas, debido a que aumentan los niveles de stock inmovilizados y disminuyen los índices de rotación de inventario. Es importante un compromiso entre las ventajas de compras especulativas y mantener niveles bajos de stock. También debe cuidarse de no sobrecargar al depósito y perder eficiencia en las actividades del proceso de entrega que se dan en él.

Además, se mantuvo el período de revisión en una semana para no modificar la estructura original de la empresa. Este supuesto puede revisarse si se desea realizar una mejora continua de la logística. Utilizando las ecuaciones (9) y (10) se puede determinar un nuevo tiempo de revisión. Esto requiere hacer un relevamiento de: los costos de inventario relativo anual, costo de hacer un pedido y costo unitario de cada artículo, necesarios para aplicar el modelo.

Respecto a la política de distribución propuesta, si bien se consideró que la asignación de recursos se mantiene, se deben realizar ciertos ajustes. Tanto la indumentaria de los repartidores como aquellos elementos visuales en los vehículos que los identifican en una u otra cadena, se recomienda sean cambiados siguiendo una estandarización única. Esto se puede lograr utilizando marcas comerciales que les son comunes, y permite que no haya inconvenientes a la hora de abastecer a ambas cadenas con vehículos y empleados compartidos.

4.7.5 Elemento aprender

La empresa está transitando un camino de aprendizaje hacia la excelencia en la gestión y la mejora de sus procesos, a través de las relaciones formadas con la UNMDP y sus estudiantes. Para la realización de este trabajo final, fue necesario realizar un contrato formal, que establece la posibilidad de realizar futuros trabajos académicos que retroalimentan el proceso actual de aprendizaje.

Utilizar los lineamientos propuestos en este trabajo y su implementación exitosa generará expectativas positivas y capitaliza todo el conocimiento aplicado para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

La incorporación de nuevo conocimiento se podría potenciar a través del ingreso de mayor cantidad de estudiantes avanzados mediante la realización de Prácticas Profesionales Supervisadas. Una mayor cantidad de posiciones ocupadas por futuros profesionales facilita el proceso de implementación de las diferentes propuestas que puedan obtenerse a través de la vigilancia tecnológica. La organización valora el aporte de la mirada y el trabajo profesional.

Es importante también mantener un registro del capital tecnológico relevado a través de auditorías, no sólo en el sector logística sino a nivel empresa. Al mismo tiempo, es necesario designar recursos que vigilen el ambiente en busca de tecnologías que permitan llevar a cabo el proceso de mejora continua. Se genera a través de ambas actividades (auditoría tecnológica y vigilancia) información de calidad y analíticas que contribuyen a mejorar el proceso de planificación. Incorporar tales funciones requiere una redefinición táctica, solamente posible través de una decisión estratégica de la gerencia. Tales acciones son señales de una empresa que aprende.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia, se observó que la empresa no utiliza ningún desarrollo teórico para la toma de decisiones en las áreas analizadas por este trabajo. Éstas se basan en la experiencia de la gerencia y el aporte de los encargados de logística.

El análisis de cumplimiento de la política de inventarios dio como resultado un nivel bajo. A pesar de ello, el desempeño medido por el nivel de servicio, se mantuvo por encima del 90% en gran parte de los productos. Esta situación resulta contradictoria, por ello se tomó como punto de partida que ambas funciones logísticas (distribución e inventarios) eran mejorables mediante la aplicación de algún desarrollo teórico pertinente.

Como parte del análisis preliminar se realizó una clasificación ABC de la cartera de productos de la empresa que permitió segmentar el cálculo de indicadores, tomando con especial importancia los productos A.

En cuanto a la propuesta de distribución, se realizó una reasignación de las sucursales “cliente” de cada depósito y se diseñaron rutas óptimas. Se muestra la comparativa en la Tabla 19 de ambos esquemas. El criterio previo era el de asignar las sucursales a cada depósito según el nombre comercial de cada una, y diseñar las rutas en base a experiencia. La comparación entre la asignación original de sucursales y la asignación propuesta se puede ver en la Tabla 19.

	Esquema original	Esquema propuesto	Variación %
Cantidad de rutas	14	14	-
Distancia recorrida [KM]	135	124	-8%
Sucursales depósito Centro	11	9	-18%
Sucursales depósito AMB	12	14	+17%
Envío promedio semanal Centro [KG]	11,589	10,268	-11%
Envío promedio semanal Ámbito [KG]	23,482	24,548	+5%

Tabla 19: Comparativa de esquemas de distribución. Fuente: Elaboración propia.

Modificar el esquema de asignación y ruteo, implica un cambio para los encargados de logística de cada depósito, los choferes y personal de depósito. La distribución se ve afectada directamente por la política de inventarios ya que esta determina la magnitud que será abastecida cada semana, lo que evidencia el grado de relación entre ambas funciones logísticas.

Los encargados de logística se verían afectados al incorporar nuevas sucursales a su cargo y dejar de suplir a otras. Deben entablar nuevas relaciones con los encargados de sucursales, y adaptarse a una nueva cultura organizacional, correspondiente a la otra cadena.

Los choferes se verían afectados al tener que recorrer nuevas rutas, y entregar a nuevas sucursales. Aun así, la carga de trabajo se mantendría en 14 viajes para cada depósito.

El personal de depósito vería modificada su carga laboral. En el caso de centro, la cantidad enviada se reduciría un 10%, mientras que para Ámbito aumentaría un 5%. Esto impacta en algunas actividades del proceso de entrega, como ser: obtención del reporte de falta, comprobación de stocks en el sistema y armado de la carga. Se tomó como consideración que los depósitos pueden absorber estas variaciones manteniendo su estructura.

En cuanto a la factibilidad económica de la propuesta, se consideraron constantes todos los recursos de la empresa, por lo que no se necesita adquirir equipamiento o realizar inversiones que impliquen un análisis económico.

Es importante tener en cuenta las consideraciones que se tomaron para el cálculo de la propuesta de mejora. Las mismas supusieron simplificaciones respecto a la realidad para facilitar el análisis y, en ciertos casos, adaptarse a la formulación específica del modelo:

- En cuanto al factor litros, este parámetro estimó el peso de los artículos, considerando que todos poseen la misma densidad. Por otro lado, los accesorios no tienen asociado factor litros. A pesar de ello la estimación es considerada buena, ya que los principales productos que se comercializan son pinturas.
- Respecto a la asignación fija de los vehículos, dado que el cuello de botella para el almacén de Centro es la baja capacidad de su flota, es posible producir mejoras en los resultados eliminando esta restricción. Por ejemplo, utilizando el vehículo que posee Ámbito con capacidad de 6.000 kg, para realizar envíos desde el almacén de Centro.
- La disminución en la distancia recorrida de un 8% sería probablemente mayor, considerando que se supuso que el ruteo original era óptimo. Es decir, se midió la distancia recorrida por los camiones a través del software VRP, cuando en realidad se utiliza la experiencia de los encargados para definir los recorridos.
- Se consideró que los pedidos de las sucursales se entregan en un único viaje, es decir, la carga no se fracciona. En el caso de la obtención de las rutas originales, esta suposición implicó reducir el envío promedio de aquellas sucursales que excedían la capacidad de cualquier vehículo, otorgando resultados menores de distancia recorrida. Permitir fraccionar carga, requiere plantear una nueva formulación del VRP. Esto brindaría resultados probablemente mejores a los que se obtuvieron.

Teniendo en cuenta lo desarrollado en los párrafos anteriores, se proponen los siguientes lineamientos de mejora:

- Compartir los vehículos entre ambos depósitos y/o analizar la compra de nuevos vehículos más grandes.
- Mediante la alternativa propuesta en el elemento “vigilar” del MOGIT, teniendo en cuenta las consideraciones en “implantar” y lo observado en las actividades del proceso de entrega a sucursales, se podrían realizar los ruteos con las necesidades semanales específicas. Es decir, incorporar la elaboración de recorridos a las actividades operacionales del proceso de entrega, de modo de vincular de forma efectiva la distribución con la operativa diaria de reabastecimiento a sucursales.
- Existen otros modelos VRP los cuales podría analizarse su implementación. Estos son más complejos y suponen quitar ciertas restricciones originales.
 - VRP con múltiples depósitos y carga fraccionada. Al modelo abordado en este trabajo, se le añade la posibilidad de que cada sucursal puede ser servida por varios vehículos, o por dos viajes de un mismo vehículo. Se encuentra una revisión de la literatura en el *paper* de Archetti y Speranza (2013)⁴.
 - VRP con múltiples depósitos y reaprovisionamiento. Este problema extiende al propuesto, en el sentido que un vehículo puede ser reaprovisionado por otro depósito en algún punto de su trayecto. El modelo se plantea y se propone un algoritmo de resolución en el *paper* de Crevier et. al. (2007)⁵.

Para los inventarios se propusieron tres métricas, a saber: Inventario promedio, rotación de inventario y nivel de servicio. Fueron elegidas en base a la bibliografía, por su importancia, facilidad de cálculo y capacidad de reflejar el desempeño de la política de inventario. A su vez responden a la ausencia de métricas de inventario dentro de la organización. El cálculo de estos indicadores en la situación original funcionó a modo de diagnóstico, con la premisa de que las mismas eran mejorables bajo un nuevo esquema. Dado el objetivo del presente trabajo de analizar los almacenes, las métricas fueron calculadas sólo para estos.

⁴ ARCHETTI, C., SPERANZA M. G. Vehicle routing problems with split deliveries, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 19, No. 1, Enero 2012, pág 3-22.

⁵ CREVIER, B., CORDEAU, J. F., LAPORTE, G. The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes, *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, No. 2, Enero 2007, pág 756-773.

A partir de la reorganización de sucursales, producto del análisis de la distribución, se reformuló el modelo de revisión periódica, lo que implicó obtener niveles máximos revisados para cada producto. Nuevamente cabe aclarar que este modelo es el vigente en la empresa, a pesar de que sus parámetros están definidos en base a la experiencia de la gerencia. Se tomó esta consideración con la intención de afectar en la menor medida posible la estructura original. Se calcularon los niveles máximos para cada depósito. Luego, para profundizar el desarrollo del modelo a todos los niveles de la logística interna de la empresa, también se calcularon los niveles máximos para las sucursales. En la definición de los parámetros del modelo, la demanda y el tiempo de entrega de los proveedores se modelizaron como variables aleatorias distribuidas normalmente. Posteriormente se recalcularon las tres métricas propuestas desde el punto de vista del depósito. La comparativa de estas tres métricas, solo para los artículos A, se muestra en la Tabla 20.

Métrica	Original	Propuesta	Diferencia absoluta	Diferencia [%]
Ámbito				
Inventario promedio [Millones de UM]	12.40	3.60	-8.80	-71%
Rotación de inventario [Rotaciones anuales]	7.33	18.51	11.18	153%
Nivel de servicio [%]	88%	96%	0.08	9%
Centro				
Inventario promedio [Millones de UM]	7.80	2.10	-5.70	-73%
Rotación de inventario [Rotaciones anuales]	6.48	15.97	9.49	146%
Nivel de servicio [%]	96%	94%	-0.02	-2%

Tabla 20: Comparación de métricas de inventario. Fuente: Elaboración propia.

Se observó cómo, con las propuestas de reasignación de sucursales y recálculo de niveles máximos, se puede disminuir el inventario promedio en un 70% para ambas cadenas. A su vez la rotación de inventario aumenta aproximadamente 1.5 veces, también para ambas cadenas.

Estos cambios mejoran el nivel de servicio en ocho puntos porcentuales en Ámbito y solo lo disminuyen en 2 puntos porcentuales en Centro. A pesar de esta disminución en el nivel de servicio de Centro, este valor sigue siendo aceptable, con un nivel del 94%. Previamente, este no era un factor controlado y determinado según la importancia estratégica de cada producto. Por lo tanto, si bien el nivel de servicio cambió con el nuevo esquema, ahora es un factor determinado por una decisión gerencial.

Consecuentemente con estas mejoras en las métricas se generan ahorros al tener menos capital inmovilizado, disminuyen los costos de mantener inventarios y se cuenta con mayor espacio aprovechable en el depósito.

Luego del análisis de estas métricas, se incluyó la comparativa de otro indicador que es utilizado en la empresa, este es el almacenamiento medido en litros de pintura. Si bien no

mide el requerimiento real de espacio del inventario, si da una idea más aproximada que el inventario promedio al no realizarse una valoración monetaria. Se observa como su valor disminuye en un 24% para toda la empresa, lo que se traduce en un requerimiento de espacio volumétrico mucho menor que el del esquema original.

En cuanto al Modelo de Gestión de la Innovación (MOGIT), se realizó una búsqueda de alternativas que permitan llevar a cabo o faciliten implantar las propuestas desarrolladas, como parte de uno de sus elementos clave. Se relevaron en total 4 alternativas, y se analizó cada una mediante las especificaciones del autor en base a criterios establecidos: costo mensual, inversión en equipos, magnitud del cambio, respuesta a las necesidades actuales, soporte disponible, necesidad de capacitaciones, costo de capacitaciones. Se buscó combinar criterios económicos, con criterios relacionados a las personas y, por último, la factibilidad de la propuesta. En base a una matriz de ponderación de criterios y calificaciones para cada alternativa, el software seleccionado fue Deonics.

La alternativa seleccionada, contribuye a la capacitación del personal de la empresa en cuanto a la gestión logística, ya que permite incorporar métricas, reportes, análisis, y brinda soluciones de almacenamiento, ruteo y gestión de inventarios. La principal dificultad para la implantación es la necesidad de estandarizar procesos que originalmente son diferentes en cada cadena debido a su separación física. En cuanto al aprendizaje de la organización, se recomienda mantener, o aumentar, el nivel de contacto con estudiantes avanzados o profesionales y seguir desarrollando trabajos con la UNMDP. A su vez, se deben incorporar funciones que tengan como objetivo la vigilancia tecnológica del ambiente externo para generar información de calidad.

6. CONCLUSIONES

La decisión de la empresa de capacitarse e incorporar conocimiento estableciendo vínculos con la UNMDP a través de pasantías y trabajos finales, motivó a realizar el presente estudio. Ello requirió en primer lugar establecer un marco formal, para poder utilizar datos reales y que los resultados de análisis sean aplicados en la empresa. Posteriormente se definió en conjunto con la empresa el objetivo del trabajo. Este fue, concretamente: analizar la logística de abastecimiento, almacenamiento y distribución de los almacenes de una empresa de pinturerías.

El alcance del trabajo final se circunscribió a los almacenes y las rutas entre estos y las sucursales. Con la salvedad de que la política de inventarios propuesta para los depósitos se aplicó por facilidad y alta importancia en el nivel de las sucursales también.

Un primer relevamiento mostró que la empresa utiliza su propio conocimiento y experiencia para la toma de decisiones, al menos en cuanto a las funciones que se plantearon como objetivo para este trabajo. Además, se observó que no se utilizan métricas para la gestión logística. Este primer relevamiento indujo la premisa de que se podían utilizar modelos teóricos para gestionar tales funciones y mejorarlas, como así proponer la incorporación de métricas a la gestión.

El análisis del cumplimiento de la política original arrojó como resultado un nivel bajo. De modo que se puede decir que, en la práctica, la empresa no hace lo que se propone, ni tampoco cuenta con los medios para descubrirlo. Esto último no solo es evidente por la falta de métricas previamente comentada, sino que además la propia gerencia no puede dimensionar la falta de cumplimiento.

Los indicadores propuestos para el análisis de inventarios fueron: inventario promedio, rotación de inventarios y nivel de servicio. De cada uno de ellos, se realizó una medición con datos históricos. Se encontró que, aunque internamente no exista una clasificación de productos, estos se pueden agrupar por su importancia relativa, siendo los productos A los que más rotaban y los que representan la mayor parte del inventario. Los valores altos observados en el nivel de servicio, junto con el resto de los indicadores, pueden significar una elevada disponibilidad de stock que se contrapone a los incumplimientos en la política.

Luego, se analizó la política de distribución de la empresa y se propuso una nueva política sin la restricción de abastecer solamente a las sucursales de una de las marcas. Se utilizó una herramienta programable en *Python* que ejecuta un algoritmo de minimización. La distancia recorrida por los vehículos se redujo un 8%. Dadas las simplificaciones tomadas, este valor es un piso de la mejora, que potencialmente puede ser mayor. Se encontró que el uso de esta herramienta, junto con la flexibilidad en cuanto a la asignación, otorgan ahorros

asegurados a la empresa en cuanto a los costos de distribución. Además, se puede continuar flexibilizando la distribución mediante la aplicación de técnicas específicas que exceden los límites del presente trabajo.

Con esta reasignación se propuso la nueva política de inventarios para los depósitos, que indica cómo este debe abastecerse para alcanzar un nivel de servicio estipulado a través de una decisión gerencial. Luego se recalcularon las métricas con este nuevo esquema.

Con el esquema original, se mantenía un elevado volumen de inventario promedio y en consecuencia baja rotación, mientras que con el esquema propuesto se puede mantener sólo el inventario necesario y las rotaciones resultan comparativamente más altas. De esta forma se comprobó la hipótesis inicial, obteniéndose mejores resultados al aplicar modelos teóricos. Esto impactó directamente en el nivel de capital inmovilizado, reduciendo, a su vez, los costos de mantener inventario.

Una vez definida la estrategia tecnológica que permita focalizar los esfuerzos de la empresa en reforzar sus capacidades para atacar sus debilidades, se seleccionó una herramienta para que la empresa pueda aplicar no sólo las mejoras propuestas, sino también técnicas e indicadores sobre otras funciones logísticas. Se encontró, además, que la empresa debe incorporar la vigilancia tecnológica y mantener, o aumentar, el nivel de contacto con las fuentes de producción de conocimiento y tecnología, donde se valora la incorporación de estudiantes avanzados de la UNMDP y profesionales.

Por último, se puede afirmar que la empresa analizada es una organización que “aprende”, ya que se ha verificado la aplicación del modelo de gestión de la tecnología y el desarrollo más que incipiente de los cinco elementos clave, que en suma significa que tiene capacidad de vigilar tanto su entorno como sus propias capacidades, y elabora sus estrategias de actualización tecnológica con base en las oportunidades y debilidades que en su análisis de contexto detecta.

Asimismo, toma acciones concretas para la implantación de sus estrategias y quizás la más importante de ellas tiene que ver con la diversificación en su esfuerzo por capacitarse, tanto en relación la incorporación de recursos humanos que le permiten incrementar sus capacidades, como con la incorporación de tecnologías para el apoyo a los procesos de toma de decisión.

7. BIBLIOGRAFÍA

BALLOU, R. H. (2004). Logística: Administración de la cadena de suministro. Quinta edición. México. Pearson Educación.

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J., & COOPER, M. B. (2007). Administración y logística en la cadena de suministros. Segunda edición. México. McGraw-Hill.

COTEC (1999). Pautas metodológicas en gestión de la tecnología y la innovación para empresas. Temaguide. Fundación COTEC. Madrid, España.

COYLE, J. J., LANGLEY, C. J., NOVACK, R. A., & GIBSON, B. J. (2013). Administración de la cadena de suministro: Una perspectiva logística. Novena edición. México. Cengage Learning Editores.

DANKBAAR, B. (1993) *Research and technology management in enterprises: issues for community policy, Overall Strategic Review*, EUR.

GRUBBS, F. E. (1969). *Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples*, *Technometrics*, Vol. 11, No. 1, Febrero 1969, pág. 1-21

HOLMES A. (2013). *Direct Observation*. Extraído el 19 de septiembre de 2017, de link.springer.com

OSPINA-TORO, D., TORO-OCAMPO, E., GALLEGO-RENDÓN, R. A. Solución del MDVRP usando el algoritmo de búsqueda local iterada, *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 1, No. 31, Mayo 2018, pág. 120-127

PETRILLO, J.D.; DEMATTEIS, R.; MORCELA, O.A.; CABUT, M. (2018). El proceso innovador (PI) y la gestión de la innovación tecnológica (GIT). Apunte de Cátedra. Mar del Plata. FI-UNMDP

ROCHA, L., GONZÁLEZ, C. & ORJUELA, J. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución, *Ingeniería*, Vol. 16, No. 2, Julio 2011, pág. 35 – 55

SUREKHA P., SUMATHI, S. *Solution To Multi-Depot Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithms*, *World Applied Programming*, Vol. 1, No. 3, Agosto 2011, pág. 118-131

TABONE, L.; TIERI, S. (2012). Desarrollo de un modelo de gestión de la innovación tecnológica para las MIPYME regionales Estudio de caso: El sector textil. Trabajo Final de Carrera. Mar del Plata. FI-UNMDP

VASILACHIS DE GIALDINO, I. (2006). *Estrategias de la Investigación Cualitativa*. Primera edición. Barcelona. Gedisa.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 1 – Sucursales de la empresa

Dentro de la ciudad de Mar del Plata, la empresa cuenta con un total de 25 sucursales las cuales pertenecen a una cadena de manera exclusiva. En la Tabla 21 se detallan el número interno, el nombre y la dirección de las sucursales diferenciadas por cadena. Las sucursales cuyo número interno es cero, son aquellas que se encuentran en la misma ubicación física que el depósito de la cadena correspondiente.

Numero interno	Nombre	Direccion	Numero interno	Nombre	Direccion
Ámbito			Centro		
4	Alberti	Alberti 1795	301	Chalten	Constitucion 5202
17	Aldrey	Sarmiento 2685 UF 5	524	180	Luro 7013
201	Alem	Alem 3360	488	Bouchard	Edison 1394
51	Colon	Colon 4990	521	Catamarca	Colon 3113
2	Edison	Edison 519	351	Constitucion	Constitucion 6099
1	Independencia	Independencia 1955	522	Dorrego	Colon 3995
57	Juncal	Luro 6001	479	JB Justo	Independencia 4498
16	Libertad	Libertad 1001	520	Luro	Luro 3059
203	Matteotti	JB Justo 2502	480	Malvinas	JB Justo 5909
53	Puerto	Edison 519	487	Peña	Independencia 3396
55	Talcahuano	12 de Octubre 4900	519	San Juan	Colon 4195
52	Tejedor	Tejedor 997	0	Jara	JB Justo 4969
0	Champagnat	Champagnat 747			

Tabla 21: Sucursales de la empresa. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa.