

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

# **Optimización de gestión de repuestos**

**Optimizar la gestión de inventarios en empresas de  
colectivos**

**AUTOR/ES:**

**Scafati, Eugenio (Leg. N° 58710)**

**Zimbimbakis, Julieta (Leg. N° 58721)**

**DOCENTE/S TITULAR/ES O TUTOR/ES:**

**Rodríguez Varela, Pablo**

**Nosetti, Inés**

**González Rodríguez, Rubén**

**Martinez Bidal, Gabriel**

**TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
ANÁLITICA EMPRESARIAL Y SOCIAL**

**BUENOS AIRES**

**SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2021**

## Índice

<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>2</b>
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>Objetivo del proyecto</b>	<b>3</b>
<b>Medición de Valor y KPIs a Impactar</b>	<b>4</b>
<b>Entregables del Proyecto</b>	<b>5</b>
<b>Abordaje del Problema</b>	<b>5</b>
<b>Plan de Trabajo</b>	<b>6</b>
Gantt de Proyecto	7
Actualización del status	7
<b>Herramientas a Utilizar</b>	<b>7</b>
<b>Datos a Utilizar</b>	<b>8</b>
<b>Análisis Exploratorio de los datos</b>	<b>8</b>
Órdenes	8
Movimientos de Stock	10
Variables Numéricas	12
Tipos de movimiento	13
<b>Nivel de Servicio</b>	<b>14</b>
<b>Reducción del scope de productos a partir del EDA</b>	<b>15</b>
Preparación de los datos	15
Limpieza de productos con outliers	15
Análisis de rotación del producto vs el monto total stockeado	16
Pareto según el monto stockeado	16
Scope final de artículos	17
<b>Business Case</b>	<b>18</b>
<b>Experimentación y Resultados</b>	<b>19</b>
Consideraciones	19
Experimentación 1	19
Situación Actual	21
Resultados	21
Cluster 1	21
Cluster 2	22
Cluster 3	23
Cluster 4	23
Experimentación 2	24
Situación Actual	25
Resultados	25
Productos Críticos	25
Productos no Críticos	26
Cluster 1	26
Cluster 2	26
Cluster 3	27
Cluster 4	27
<b>Conclusiones</b>	<b>29</b>

## Resumen Ejecutivo

El siguiente proyecto tiene como objetivo optimizar la gestión de inventarios de un grupo económico llamado Grupo Línea 96, dueño de varias líneas de colectivos en la Provincia de Buenos Aires. Entendiendo que la política actual de gestión de inventarios se basa en la intuición y no en los datos históricos de la demanda y que esto genera una ineficiencia que se traduce en costos elevados tanto de oportunidad al tener activos inmovilizados como costos de pérdidas y roturas de repuestos. Por otro lado, al haber productos que determinan si un colectivo puede transportar pasajeros, las ineficiencias en la gestión de stock también tienen impacto en la facturación del grupo generando pérdidas.

A partir de esta situación, se redujo el scope de los artículos incluidos en la solución midiendo la rotación y el precio de estos. Los productos considerados son los que representan el 80% del costo de oportunidad total y que tienen una rotación menor a 2 veces al año, entendiendo que estos tienen sobre stock y donde se encuentra una gran oportunidad de mejora. Estos terminan representando el 3% de los productos totales que transacciona el Grupo y a partir de estos productos restantes se armaron cuatro clusters segmentando según la rotación del stock y el valor del SKU.

Finalmente, para mejorar la lógica detrás de la gestión de inventarios, se plantearon dos heurísticas, una basada en la optimización lineal de Wilson y otra calculando el Stock de Seguridad y el Punto de Reorden a partir de distintos niveles de servicios deseados.

En conclusión, se logró encontrar una heurística que logra reducir en un **73.4%** los costos totales de gestión de inventario en el subset de productos seleccionados, representando aproximadamente **26.4** millones de pesos anuales.

## Introducción

Grupo Línea 96 es un grupo económico dedicado al rubro del transporte de corta distancia, debido a que estas facturan a partir del transporte de pasajeros, es necesario que los colectivos estén en óptimas condiciones asegurando la seguridad de los usuarios del servicio. Este grupo económico presta servicios con más de setecientos colectivos, se conforma a partir de las líneas 4, 49, 86, 88, 96 y 97 y cuenta con al menos un almacén de repuestos en cada empresa. Este almacén es llamado pañol, y es donde se guardan los repuestos para los vehículos, contando con piezas y repuestos de gran valor monetario.

Actualmente, estos se gestionan a partir de políticas de inventario ad hoc y los valores mínimos para cada tipo de repuesto y el número a reponer al ordenar son determinados por los operarios. Al ser establecidos sin ningún tipo de análisis previo y en base a experiencias, las cantidades de piezas no son óptimas por lo que sucede que están almacenadas más tiempo del que se desea, aumentando el riesgo de ser extraviadas o hurtadas. En contraposición, en caso de ser muy específicas y que el mínimo stock no esté establecido, los colectivos pueden quedar inhabilitados para prestar servicio hasta que la pieza arribe, generando pérdidas de facturación.

## Objetivo del proyecto

Hoy en día, el Grupo Línea 96 gestiona los repuestos para los colectivos en base a experiencias sin análisis en base a la demanda u otras inteligencias. Esto genera situaciones en las cuales se almacenan repuestos de alto valor económico por mucho tiempo en los pañoles, representando un costo elevado de oportunidad para la empresa. Adicionalmente, dichos repuestos corren el riesgo de merma, robo o incluso de rotura en procesos de reordenamiento de stock. Por otro lado, en caso de que el repuesto no esté disponible cuando el colectivo lo necesita y que este sea indispensable, se incurre en un periodo de varios días hasta que este se ordena y arriba al pañol, lo cual significa tener un colectivo sin poder ejecutar el circuito correspondiente, es decir, sin generar ingresos.

Durante el proyecto, a partir del análisis y los resultados, el objetivo es brindarle mayor inteligencia y escalabilidad a la gestión de inventarios. La intención es, a través de un exhaustivo análisis de datos, dimensionar el problema, reconocer los actores involucrados y hacer una descripción cuantitativa y cualitativa de la situación actual. De esta forma se podrá acotar el problema a las piezas o grupos de repuestos cuya efectiva gestión tenga un mayor impacto económico. Luego, se procederá a modelar la situación de ingresos y egresos de stocks a fin de poder realizar experimentos y así encontrar un modelo de gestión de inventarios que mejore el proceso actual y obtenga un considerable impacto económico en el Grupo.

## Medición de Valor y KPIs a Impactar

Para cuantificar el impacto del proyecto para la empresa esto se medirá a partir de la reducción del costo de oportunidad al reducir x días de stock en ciertos repuestos. Los objetivos establecidos se definieron para tener un seguimiento cuantitativo y tener certeza sobre los beneficios de implementar el modelo propuesto.

Los KPIs con los que se medirá el impacto del proyecto son los siguientes:

- Nivel de servicio: repuestos que se entregan a tiempo (menos de 48hs) sobre el total de órdenes.
- Costo de gestión de inventarios, compuesto por:
  - ◆ Pérdida de facturación por falta de repuesto.
  - ◆ Costo de oportunidad de repuestos almacenados
    - Calculado como el stock promedio de cada pieza por su valor económico por una tasa de interés anual de un plazo fijo.
  - ◆ Costo de productos/ piezas pérdidas, robos o roturas de repuestos almacenados.
    - Considerando los movimientos de *ajuste* en la base de datos.

La función objetivo a minimizar es la siguiente:

$$CTGI = \min \sum_i^{\text{colectivos días}} \sum_j PFC_{ij} + \sum_i^{\text{colectivos días}} \sum_j PFnCi + \sum_i^{\text{pérdidas}} CPi + \sum_i^{\text{productos}} COi$$

Siendo:

CTGI = Costo total de gestión de inventarios.

PFC = Pérdidas de facturación por día por colectivo por falta de repuestos críticos.

PFnCi = Pérdidas de facturación por día por colectivo por falta de repuestos **no** críticos.

CP = Costo por pérdidas, robos o roturas de repuestos almacenados.

CO = Costo de oportunidad por repuestos almacenados.

## Entregables del Proyecto

- Dimensionamiento del problema y análisis exploratorio de los datos:
  - Volumen monetario actual de la política de gestión de inventarios que se emplea.
  - Reducción del scope de repuestos a gestionar sobre los que mayor impacto tienen.
- Modelado y resultados iniciales:
  - Detalle de los modelos de gestión de inventarios evaluados.
  - Análisis del impacto de estos en los KPIs.
- Informe de resultados:
  - Documento final detallando las metodologías utilizadas para realizar la investigación.
  - Desarrollo y análisis de los resultados obtenidos.
  - Recomendación a la empresa de cómo gestionar sus inventarios de forma más eficiente.

A partir del resultado final, el Grupo Línea 96 podrá comprender la situación actual de su gestión de inventarios y contar con recomendaciones y un plan de acción claro para poder implementar distintas lógicas de entrada y salida de stock que le permita tener una mejor gestión de inventarios. De esta forma, reduce notablemente sus costos totales de gestión de inventario y aumenta sus ganancias.

## Abordaje del Problema

Para abordar el problema se utilizarán las primeras cinco fases de la metodología CRISP DM (Cross-industry standard process for data mining). Dicha metodología plantea un modelo de seis fases que describe el ciclo de vida de un proyecto genérico de ciencia de datos, a partir del cual se pueden establecer de forma ordenada los diferentes pasos para abordar el problema planteado.

1. Comprensión del negocio:
  - a. En esta etapa se define cuál es el verdadero problema, cuáles son los principales KPIs y qué restricciones tiene.
2. Entendimiento de los datos:
  - a. Se realizará un exhaustivo análisis de datos para dimensionar la situación actual, cuántos repuestos tienen, cuál es la dinámica de productos pedidos/robados, ingresos y egresos. Por otro lado también se analizará si hay datos faltantes, el nivel de servicio con el que cuentan actualmente.
3. Preparación de datos:
  - a. Se recreará el stock diario por producto
  - b. A partir del entendimiento de los datos y el análisis exhaustivo de estos, el objetivo será comprender qué repuestos causan el mayor impacto económico a fin de poder acortar el scope de productos a incluir en el modelo y ser efectivos en la ejecución.
4. Modelado:
  - a. Primero, se modelará un caso base a partir de promedios o pedidos del periodo anterior, con la intención de tener una baseline con la cual comparar las posibles heurísticas.

- b. Luego, se desarrollarán experimentaciones y distintos modelos entendiendo los ahorros que estos implican para poder comparar las opciones.
5. Evaluación:
- a. Se evaluarán los resultados obtenidos a partir de los KPIs de negocio establecidos para entender el impacto económico que tendría cada una de ellas y elegir el mejor modelo.

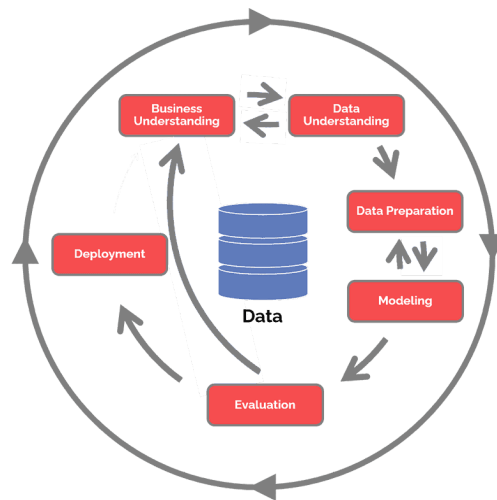


Imagen 1: Metodología CRISP DM

## Plan de Trabajo

La metodología a seguir para el desarrollo del proyecto será híbrida entre Agile y Waterfall. Esto se debe a que, por un lado, habrá pasos que serán determinantes para las siguientes fases del proyecto; pero por el otro, en pasos como el del modelado, se iterará múltiples veces para conseguir el mejor resultado posible dentro de los límites temporales establecidos.

Un riesgo importante que se destaca es no encontrar un modelo de gestión de inventarios que genere un impacto económico significativo y que por lo tanto la implementación de las recomendaciones brindadas generen un mayor costo que beneficio. Por otro lado, un riesgo menor es que las fuentes de información contengan datos inconsistentes, con gran cantidad de valores faltantes y que la limpieza y estandarización de estas fuentes para dimensionar y modelar el problema lleven un mayor tiempo del estimado.

## Gantt de Proyecto

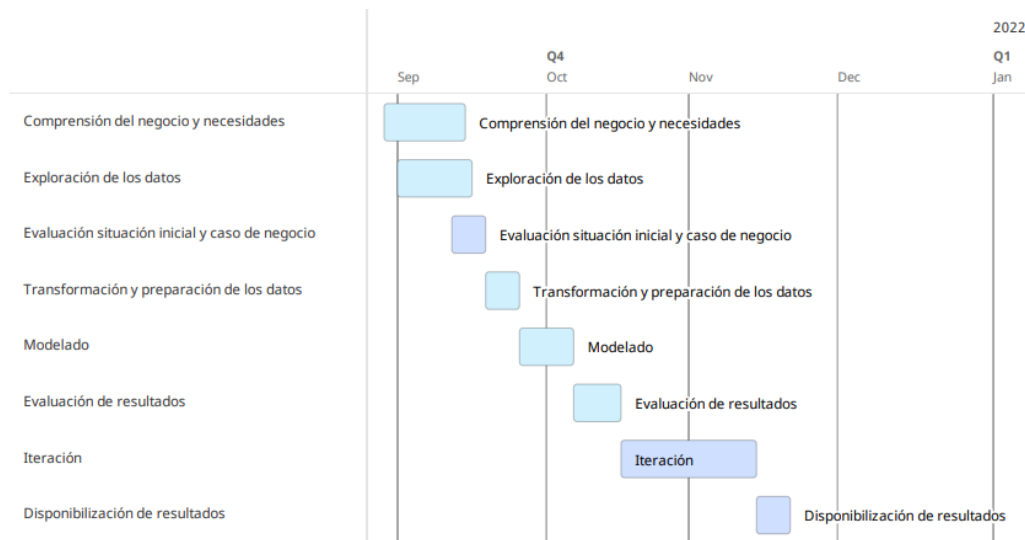


Imagen 2: Gantt del proyecto

## Actualización del status

Actualmente, habiendo realizado las entregas intermedias, y los pasos anteriores, el proyecto se encuentra finalizado y se ubica en la etapa de Disponibilización de resultados. Ya habiendo concluido las etapas de experimentación con diferentes abordajes y modelos, iteración de estos y teniendo una solución a proponer.

## Herramientas a Utilizar

Las herramientas utilizadas para llevar a cabo el proyecto serán las siguientes:

- Airtable: seguimiento del proyecto, distribución de tareas y armado del Gantt.
- Github: versionado del código y el desarrollo.
- Python: lenguaje de programación para el análisis de datos y el modelado.
- Jupyter Notebooks: plataforma para analizar los datos y armar POCs de machine learning.
- Google Colab: plataforma para escribir código python en notebooks de forma colaborativa.
- Google Drive: almacenamiento de documentos, datos y recursos en la nube.



## Datos a Utilizar

Los datos son una pieza fundamental para poder evaluar la situación base los costos de oportunidad y pérdidas generadas por la política de gestión de inventarios actual. Estos serán brindados por los dueños del problema asegurando un gran volúmen de información que posibilite la toma de decisiones basadas en datos. Además, a partir de dichas fuentes se analizarán los impactos de diferentes políticas de gestión de inventarios y finalmente se brindará la recomendación a la empresa.

La información a utilizar como input será: la lista de repuestos, junto con su stock actual, existencias mínimas necesarias y la cantidad a pedir al ordenar. Además, se cuenta con todos los movimientos de repuestos e insumos de las empresas, desde los ingresos y egresos hasta las transferencias entre depósitos y ajustes de cantidades y los pedidos de repuestos a los respectivos proveedores.

En caso de existir información sensible en los datos obtenidos, como los datos personales de los operarios o proveedores, se accionará para anonimizar y no comprometer la privacidad de estos sin su consentimiento.

Las bases de datos brindadas por la empresa fueron las siguientes:

- Órdenes realizadas entre los años 2019 y 2021.
- Movimientos de stock realizados entre los años 2019 y 2021.
- Diccionario de artículos históricos con el nombre de este, existencias mínimas, cantidad al ordenar, entre otros.
- Pedidos de repuesto realizados entre los años 2019 y 2021.

## Análisis Exploratorio de los datos

### Órdenes

La base de datos de órdenes cuenta con el registro de todos los pedidos realizados al taller. Para comenzar con el análisis exploratorio se procedió a observar los primeros registros para iniciar el conocimiento de los datos.

	O_NRO	O_FECHA	L_LINEA	I_INTERNO	O_FEC_CIERRE	O_OBS	C_CLASIFICACION	O_RESPONSABLE
0	929962	2019-01-30	96	36	2019-01-31 01:34:32.370	NaN	C	0
1	929963	2019-01-30	86	1091	2019-01-31 01:24:00.600	NaN	C	0
2	929964	2019-01-30	49	924	2019-01-31 00:46:07.330	NaN	C	0
3	929965	2019-01-30	96	25	2019-01-31 00:04:51.437	NaN	C	0
4	929966	2019-01-30	88	8079	2019-01-31 03:51:26.870	NaN	C	0

Imágen 3: Head tabla ordenes

Se analizó la estructura del dataset y la presencia de valores nulos en el dataset, como se puede ver en la siguiente imagen:

```
Data columns (total 8 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  -
0   O_NRO                  385767 non-null object
1   O_FECHA                385767 non-null datetime64[ns]
2   L_LINEA               385767 non-null object
3   I_INTERNO             385767 non-null object
4   O_FEC_CIERRE          384672 non-null datetime64[ns]
5   O_OBS                 607 non-null   object
6   C_CLASIFICACION       385767 non-null object
7   O_RESPONSABLE         385767 non-null object
dtypes: datetime64[ns](2), object(6)
```

*Imagen 4: Información del dataset órdenes*

Los datos analizados corresponden a las fechas comprendidas entre el 1/1/2019 hasta el 17/9/2021 y las columnas del dataset contienen la siguiente información:

- O\_NRO contiene el id de la orden
- O\_FECHA es la fecha en la que se cargó la orden
- L\_LINEA la línea de colectivo a la cual corresponde la orden
- I\_INTERNO es el número del colectivo
- O\_FEC\_CIERRE es la fecha de cierre de la orden
- O\_OBS contiene información en formato texto en casos especiales en los que es necesario dejar algún comentario
- C\_CLASIFICACION describe de qué tipo es la orden
- O\_RESPONSABLE quién fue el responsable de crear la orden

Algunos detalles de esta tabla son que dentro de las órdenes, se incluyen operaciones en las cuáles puede no ser necesario un repuesto. Por otro lado, para la creación de las órdenes de mantenimiento, es decir del tipo preventivo, a partir de procedimientos que se ejecutan durante la noche, se crea un aviso con las órdenes preventivas para el día corriente y al iniciar la jornada laboral un representante confirma el agregado de estas órdenes de trabajo.

El principal insight obtenido a partir del análisis de las órdenes es que éstas se mantienen constantes con una leve tendencia creciente, que se puede observar en el siguiente gráfico:

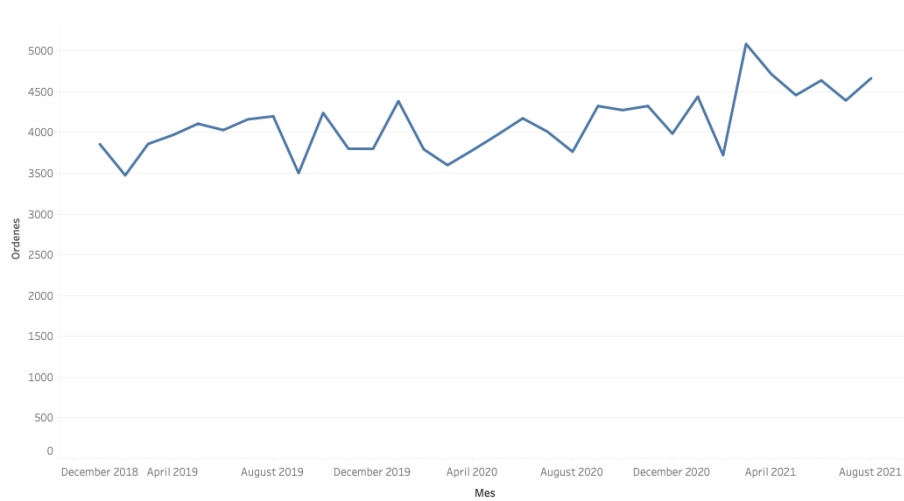


Imagen 5: Órdenes por mes

### Movimientos de Stock

Esta base de datos contiene información sobre los movimientos de stock en primer lugar se observaron algunos registros y la composición del set de datos:

S_TIPO	S_FECHA	S_TURNO	S_PROVE	S_COCHE	S_TALLER	S_DEPOSITO	S_RUBRO	S_ARTICULO	S_CANTIDAD	S_PRECIO	S_NUMERO	S_DATE	S_USUARIO	S_DESCUENT	S_LEGAJO	S_LINEA	S_W25	S_DES
0	2019-01-01 00:00:00.000			700	0	1	12	3346	-1.0	260.54	5623	2019-01-02 00:00:00.000	70 34	0.0	550	96	0	
1	2019-01-01 00:00:00.000			700	0	1	12	12717	-1.0	319.00	5623	2019-01-01 00:00:00.000	70 34	0.0	771	96	0	

Imagen 6: Head tabla stock

En esta tabla, se registran movimientos desde el 2019-01-01 hasta el 2021-09-17 y cuenta con **1627111** filas y **19** columnas. La estructura del dataset, como se puede observar en la imagen, se compone de 4 columnas integer, 3 float y 11 no numéricas y 1 datetime. Las columnas del dataset contienen la siguiente información:

- S\_TIPO: Refiere al tipo de movimiento que se realizó, tales como ingresos, egresos, ajustes o transferencias.
- S\_FECHA: Fecha de cuando se realizó el movimiento.
- S\_TURNO: Turno de trabajo cuando se cargó el movimiento. Puede ser mañana, noche etc.
- S\_PROVE: Código del proveedor del repuesto en cuestión.
- S\_COCHE: Coche relacionado al repuesto en cuestión.
- S\_TALLER: Taller donde se realizará el mantenimiento del vehículo con el repuesto.
- S\_DEPOSITO: Deposito donde se ingresa o egresa el repuesto.
- S\_RUBRO: Rubro al que pertenece el repuesto.
- S\_ARTICULO: Código del repuesto en cuestión.
- S\_CANTIDAD: Cantidad de unidades del repuesto.
- S\_PRECIO: Precio unitario del repuesto.

- S\_NUMERO: Número de colectivo dentro de la línea.
- S\_DATE: Idem Fecha.
- S\_USUARIO: Usuario interno de la empresa que cargo los datos.
- S\_DESCUENT: Irrelevante.
- S\_LEGAJO: Irrelevante.
- S\_LINEA: Línea de colectivos a la que el coche pertenece.
- S\_W25: Id de la orden para hacer el join con la tabla de Órdenes.
- S\_DES: Irrelevante.

The structure of the dataset is:

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Int64Index: 1627111 entries, 0 to 1627257
Data columns (total 19 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  -
0   S_TIPO      1627111 non-null object
1   S_FECHA     1627111 non-null datetime64[ns]
2   S_TURNO     1627111 non-null object
3   S_PROVE     1627111 non-null object
4   S_COCHE     1627111 non-null object
5   S_TALLER    1627111 non-null object
6   S_DEPOSITO  1627111 non-null int64
7   S_RUBRO     787215 non-null object
8   S_ARTICULO  1627111 non-null int64
9   S_CANTIDAD  1627111 non-null float64
10  S_PRECIO    1627111 non-null float64
11  S_NUMERO    1627111 non-null int64
12  S_DATE      1627111 non-null object
13  S_USUARIO   1627111 non-null object
14  S_DESCUENT  1627111 non-null float64
15  S_LEGAJO    1627111 non-null object
16  S_LINEA     1627111 non-null object
17  S_W25       1627111 non-null int64
18  S_DES       1627111 non-null object
dtypes: datetime64[ns](1), float64(3), int64(4), object(11)
```

Imágen 7: Información del dataset stock

La tabla cuenta con valores nulos únicamente en la variable RUBRO:

```
amount of nulls per column:
S_TIPO          0
S_FECHA         0
S_TURNO         0
S_PROVE         0
S_COCHE         0
S_TALLER        0
S_DEPOSITO      0
S_RUBRO         839896
S_ARTICULO      0
S_CANTIDAD      0
S_PRECIO        0
S_NUMERO        0
S_DATE          0
S_USUARIO       0
S_DESCUENT      0
S_LEGAJO        0
S_LINEA         0
S_W25           0
S_DES           0
dtype: int64
```

Imágen 8: Valores nulos por columna

### Variables Numéricas

En cuanto a los estadísticos descriptivos de las variables numéricas, se puede ver que que la cantidad tiende a ser -1 en la mayor parte de su dominio, es decir, egresa una unidad. A su vez, se identificaron posibles outliers en está variable, se ven mínimos de -50000 y máximos de 99999 que son sospechosos. Estos serán analizados con los stakeholders para comprender si deberán ser tomados en cuenta.

En particular el precio, alineado con los supuestos, cuenta con una distribución de cola pesada, encontrando muchos valores en precios bajos y pocos en precios muy elevados.

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
<b>S_CANTIDAD</b>	1627111.0	0.607186	252.869042	-50000.0	-1.00	-1.0	-1.00	99999.0
<b>S_PRECIO</b>	1627111.0	1037.062601	6004.092554	0.0	29.75	102.0	523.08	955944.0
<b>S_DESCUENT</b>	1627111.0	0.027212	0.839395	0.0	0.00	0.0	0.00	60.0

Imagen 9: Estadísticos descriptivos de las variables numéricas

Entre los pasos del análisis exploratorio, se analizó la correlación entre las variables numéricas pero no se encontró ninguna relación significativa, como se puede observar en el siguiente gráfico:

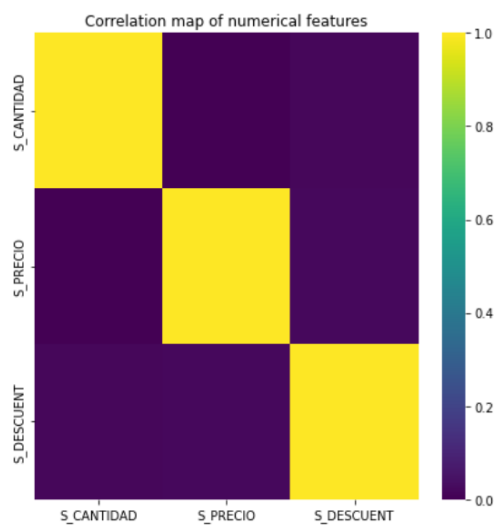


Imagen 10: Matriz de correlación

### Tipos de movimiento

Los movimientos corresponden a cuatro tipos de movimiento siendo:

- E: egresos
- I: ingresos
- T: transferencias entre depósitos
- A: ajustes para que cierren los balances.

Al analizar la cantidad de órdenes por tipo de movimiento, se concluye que hay una amplia mayoría de órdenes de egresos que de ingresos. Lo cual da la pauta de que piden stock de a baches muchos más elevados que los baches que salen del stock. Esto no es necesariamente negativo, habría que considerar los costos de almacenamiento y evaluar el tiempo y costo de hacer un pedido.

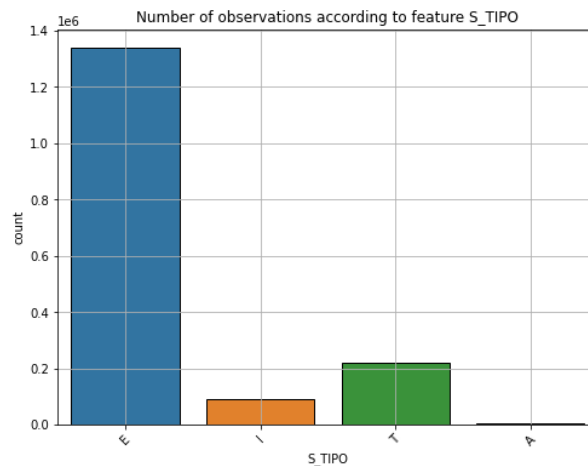


Imagen 11: Cantidad de movimientos por tipo

Luego, se graficó la distribución de egresos por artículos y se puede observar que esta sigue una distribución de cola pesada. Esto nos permite comprender que:

- Existe concentración de egresos en pocos artículos.
- El artículo que más egresos tiene, concentra un 5% de los casos.
- El 10% de los artículos concentran el 80% de los egresos.
- Esto no es cantidad de productos, si no movimientos. Cantidad de veces que se registra un egreso de un producto, lo cual equivale a cantidad de lotes de producto que salen. Ya se analizó que la gran mayoría de las veces los artículos tienden a salir de a 1.

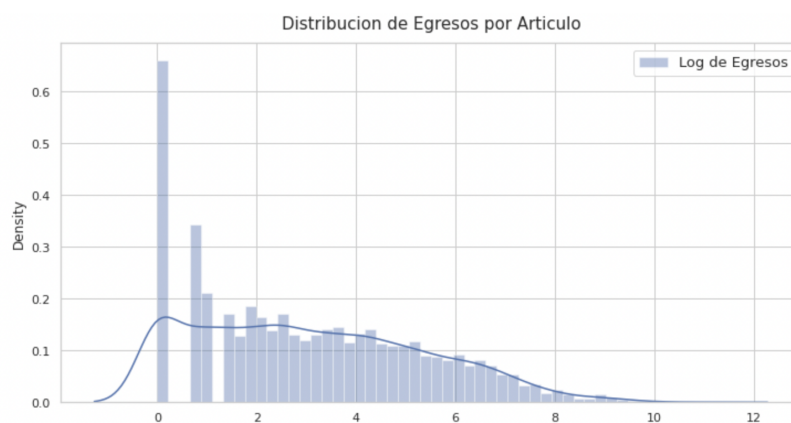
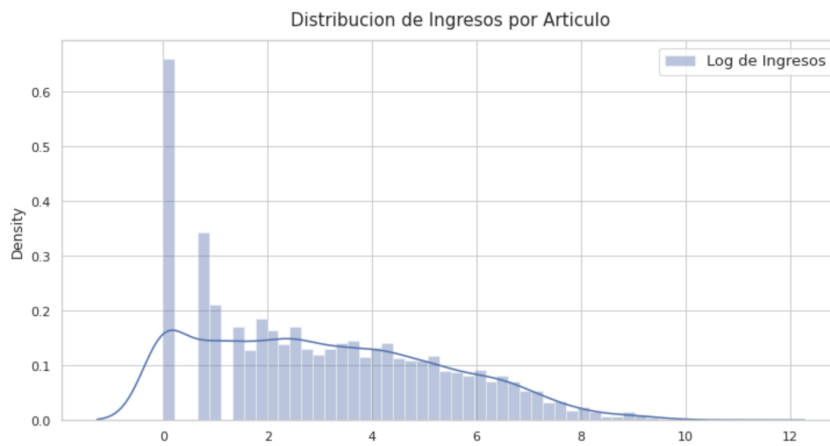


Imagen 12: Logaritmo de cantidad de egresos por artículo

Replicando este gráfico para el ingresos de artículos, las conclusiones son similares:

- Existe concentración de ingresos en pocos artículos.
- El 76.2 % de los ingresos está dado por el 18.2 % de los artículos.
- El artículo que más ingresos tiene, concentra el 11.5% de los casos.

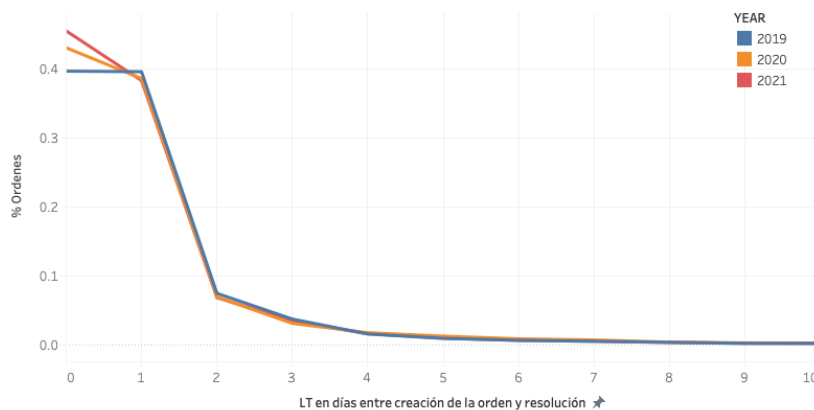


Imágen 13: Logaritmo de cantidad de ingresos por artículo.

## Nivel de Servicio

Se procedió a cuantificar el nivel de servicio, entendido como las órdenes que se cierran a menos de 48 horas de haber sido abiertas y observar la evolución de este en los años de análisis. La mediana del LT entre la creación y resolución de las órdenes es de 1 día, mientras que la media es de 3,5 días. Entendiendo del negocio, se conoce que hay productos considerados críticos, es decir, necesarios para que el colectivo esté en funcionamiento y productos no críticos, el nivel de servicio debería ser mayor en los primeros.

A partir del siguiente gráfico se puede observar el nivel de servicio desagregado por año y concluir que en lo transcurrido del 2021, el nivel de servicio viene aumentando con respecto al año 2020, habiendo 5pp más de órdenes que se resuelven en el mismo día y manteniendo las que se resuelven en menos de 24hs.



Imágen 14: Lead Time en resolución de ordenes por año

## Reducción del scope de productos a partir del EDA

Como se mencionó anteriormente, el objetivo del proyecto es optimizar la gestión de stocks del grupo económico y brindar una recomendación sobre cómo se sugiere proceder con el manejo de los inventarios. Esto trae cierta complejidad porque cada producto tiene su lógica particular y es por ello que se buscaron distintas heurísticas y filtros para acortar el scope de productos elegidos para abordar el problema. Estos se definieron para hacer foco en los productos sobre-stockeados y con alto valor monetario, generando un elevado costo de oportunidad.

### Preparación de los datos

Se recrearon los stocks por día por producto a partir de un stock en un momento dado y luego con todos los ingresos y egresos.

Al calcular los estadísticos descriptivos del stock promedio, se ve que tiene una media de **8220**, una mediana de **12** y un desvío estándar de **120646**. Por lo cual hay pocos productos muy stockeados y otros muchos muy levemente stockeados. Se comprende que algunos pueden ser errores de data entry o de definición, es por esto que luego de hablar con el cliente se tomó la decisión de quitar los productos relacionados al rubro de los aceites y desengrasantes, ya que por las unidades y los métodos de medición eran datos poco precisos.

Luego, para continuar reduciendo el scope de productos a analizar, se realizó un filtro para tener en cuenta solamente productos que tuvieron al menos un egreso desde el 2019 y de esta forma considerar artículos que se encuentren vigentes, reduciendo los productos totales (5004) en un 43%, siendo estos 2822 productos.

### Limpieza de productos con outliers

Además, se procedió a identificar los que tenían cantidades de egresos e ingresos con un desvío por encima del percentil 90, para de esta forma, disminuir el ruido causado por productos que podrían tener errores en la carga. Es decir, haber ingresado manualmente valores muy por encima o muy por debajo de los reales al momento de registrar los datos. De esta forma se filtraron el 10% de los 2822 productos analizados. Siendo la media de este subconjunto de los datos **35**, la mediana de **7** y el desvío estándar **251**.

articulo	CANTIDAD	stock	sto	A_PRECIO	monto_total	A_DES
5094	48483.06	225503.798270	0.214999	89.00	2.006984e+07	LIQUIDO REFRIG.MOTOR CUMMINS SUELTO
9759	4044.70	190111.118639	0.021275	1.00	1.901111e+05	RUEDA DELANTERA DERECHA
9760	3975.76	192137.011953	0.020692	1.00	1.921370e+05	RUEDA DELANTERA IZQUIERDA
9761	15783.53	160980.287196	0.098046	1.00	1.609803e+05	RUEDA TRASERA DERECHA
9762	20092.85	169260.692806	0.118709	1.00	1.692607e+05	RUEDA TRASERA IZQUIERDA

Imagen 15: Ejemplos valores extremos



### **Análisis de rotación del producto vs el monto total stockeado**

A partir de estos productos se graficó el monto stockeado en estos artículos y la rotación de estos. La métrica utilizada es el **Stock Turnover Rate** que resulta de calcular la demanda total del producto dividido el stock promedio de ese producto. Este indicador muestra cuántas veces se ha rotado el stock en el periodo (3 años en este caso). Se considera como límite aquellos productos que hayan rotado el stock **3** veces o menos puesto que muestra que si rotaron el stock en promedio **1** vez por año o inclusive menos, es porque posiblemente se están almacenando de más en ese producto.

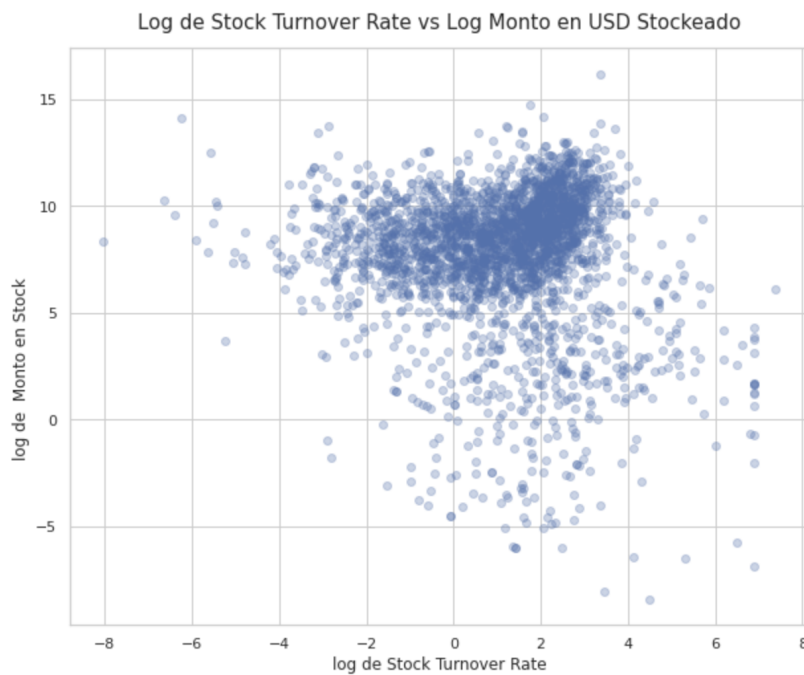


Imagen 16: Monto en stock por artículo vs sto ambas variables en plano logarítmico.

### **Pareto según el monto stockeado**

Con el objetivo de refinar aún más el scope de productos en los cuales enfocar el proyecto, se decidió aplicar la distribución de Pareto y filtrar aquellos productos que representaban el 80% del total del monto stockeado en valor económico, quedando un total de 411 artículos. Esto se debe a que es sobre los cuales resulta más interesante optimizar la gestión de stocks, ya que es donde descansa el **80%** del dinero invertido en repuestos. Este monto es dinero que no se puede utilizar para otro fin, que está frenado y almacenado físicamente como repuesto, por lo cual tiene un costo de oportunidad muy elevado.

	A_DES	monto_total	Proportion	Cumsum_Proportion
0	RECAPADO 275 X 22.5 RADIAL FRIO	1.023672e+07	0.132566	0.132566
1	CUBIERTA 275-80 X 22.5 RADIAL GOODY.KMAX EXTREME	2.456961e+06	0.031818	0.164383
2	CUBIERTA 275-80 X 22.5 RADIAL FATE SR200	1.415269e+06	0.018328	0.182711
3	REMACHES POP 4 X 25 CHATO (X 1000)	1.337229e+06	0.017317	0.200028
4	BATERIA 180 AMP.NUEVAS	1.024839e+06	0.013272	0.213300
...	...	...	...	...
406	JUNTA CARCAZA TERMOSTATO OM906 O500U	3.459917e+04	0.000448	0.797998
407	VOLANTE DIRECCION OHL 1315	3.451686e+04	0.000447	0.798445
408	CAÑO SALIDA COMPR.OHL1618 1\$TRAMO	3.450489e+04	0.000447	0.798892
409	JUNTA CONTRATAPA VALVULAS CUMMINS 4 ISBE	3.448839e+04	0.000447	0.799339
410	PARAG.TRASERO ITALBUS TROPEA	3.435901e+04	0.000445	0.799784

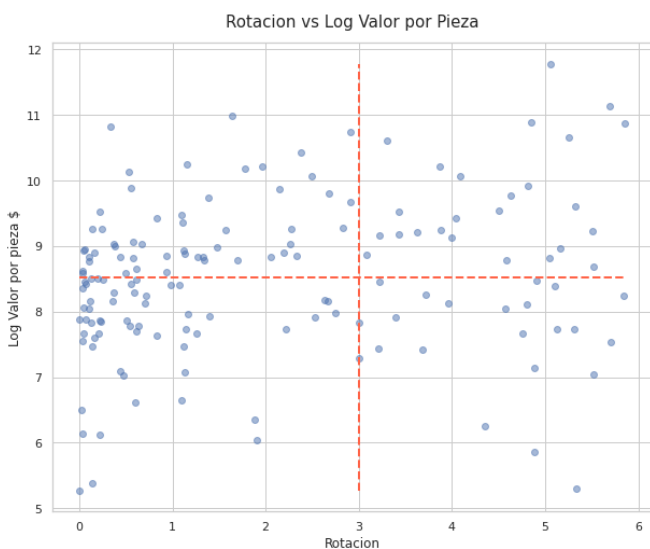
Imágen 17: Tabla de artículos con mayor monto (cantidad \* precio) stockeado

### Scope final de artículos

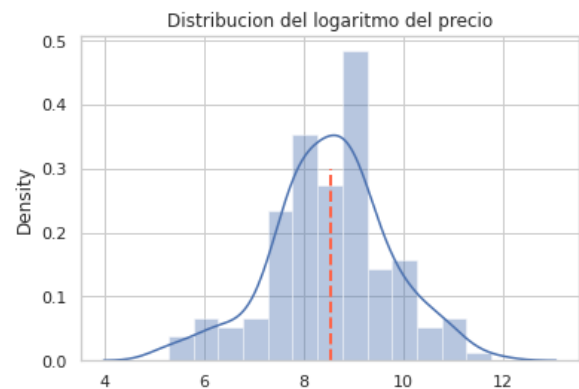
Por último, se filtraron todos los artículos con *sto* (*Stock Turnover Rate*) menor o igual a 6, es decir que haya rotado menos de dos veces por año entre el 2019 y 2021, quedando 153 artículos en el subset de productos.

A continuación se puede observar el gráfico con estos artículos en función del valor de la pieza correspondiente y la rotación entre 2019 y 2020. Los cortes hechos en el gráfico fueron los siguientes:

- Rotación = 3 → para diferenciar aquellos que rotan al menos 1 vez por año de los que no.
- Valor = 8.5 → por la media del logaritmo de los precios que responde a una distribución normal centrada en su media.



Imágen 18: Logaritmo del valor por artículo vs *sto*



Imágen 19: Distribución del logaritmo del precio

Características y cantidad de productos por cuadrante:

Cluster	1	2	3	4
Rotación	Baja	Alta	Baja	Alta
Valor de la pieza	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Cantidad de productos	23	16	84	30

Tabla 1: Características por cluster

Teniendo los clusters de productos, se procedió a analizar las órdenes de compra de insumos. Estas contienen la información de la fecha en la cuál se hizo un pedido, el proveedor, cuáles y cuántos productos de cada SKU se ordenaron y la cantidad de artículos que efectivamente se entregaron. Esta información se utilizó para calcular los lead times entre que se ordena un producto y se encuentra disponible en el almacén.

## Business Case

La gestión de los inventarios de la empresa se ve afectada por costos de oportunidad al tener dinero inmovilizado en repuestos, costos de pérdidas, robos y roturas y otros costos de oportunidad que se ven asociados a la facturación perdida cuando un colectivo queda parado por no contar con un repuesto crítico cuando es necesario.

Para entender y cuantificar el impacto económico que se podría generar teniendo una gestión de inventarios más eficiente. Se calculó la ganancia al reducir en 1 unidad de stock a cada SKU y esto tiene como resultado la suma total de \$1,539,347 pesos anuales, representando un 5.67% del costo de inventarios del scope de productos abordados. Este representa un cálculo inicial para dimensionar las ganancias, pero se comprende que no todos los productos se benefician al estar menos stockeados, por lo cual es importante discernir entre estos ya que estar sub stockeado de algunos productos puede generar que ciertos colectivos no puedan prestar servicio, lo cual también representa un costo para la empresa.

El objetivo de la experimentación es encontrar un trade-off razonable y accesible entre stock promedio y nivel de servicio para reducir costos lo más posible considerando las características de cada grupo de productos.

## Experimentación y Resultados

### Consideraciones

En primer lugar, se obtuvo la información de la empresa en relación a que el costo de pedir repuestos se puede considerar despreciable y sobre esta premisa se realizó el análisis. Esto también se puede confirmar con la información obtenida de la empresa ya que en el siguiente gráfico se puede observar que la cantidad de órdenes con al menos un producto que se ordenaron por mes desde enero del 2019 no tiene una restricción en cantidad mínima o máxima de órdenes:

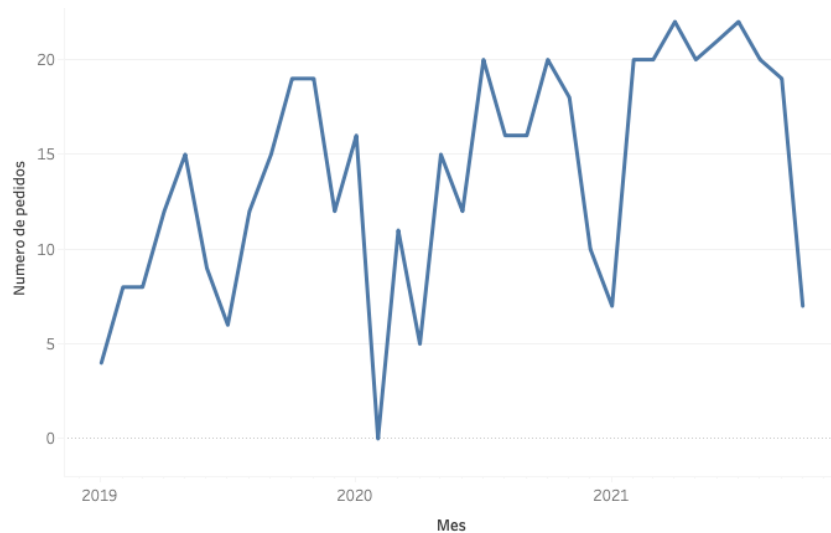


Imagen 20: Pedidos por mes

### Experimentación 1

A fin de encontrar un balance que permita mejorar la situación actual, se planteó un problema de optimización lineal el cual se basa en la lógica propuesta por Wilson, donde se busca en primer lugar, minimizar la siguiente función de costos totales de gestión de inventarios.

$$CTGI = \min \sum_i^{\text{colectivos días}} \sum_j PFC_{ij} + \sum_i^{\text{colectivos días}} \sum_j PFnCi + \sum_i^{\text{pérdidas}} CPi + \sum_i^{\text{productos}} COi$$

Siendo:

CTGI = Costo total de gestión de inventarios.

PFC = Pérdidas de facturación por día por colectivo por falta de repuestos críticos.

PFnCi = Pérdidas de facturación por día por colectivo por falta de repuestos **no** críticos.

CP = Costo por pérdidas, robos o roturas de repuestos almacenados.

CO = Costo de oportunidad por repuestos almacenados.

Estos cálculos se resuelven de la siguiente manera:

$$\text{Costo de oportunidad} = \sum_i^{\text{productos}} (\text{stock promedio} * \text{precio unitario})$$

$$\text{Costo de pérdidas} = \sum_i^{\text{productos}} (\text{stock promedio} * \text{precio unitario} * P(\text{pérdida}))$$

$$PFC = P(\text{producto crítico}) * \text{Órdenes} * (1 - \text{nivel de servicio}) * \text{Facturación diaria} * \text{Lead time}$$

$$PFnC = P(\text{producto no crítico}) * \text{Órdenes} * (1 - \text{nivel de servicio}) * \text{Facturación diaria}/10 * \text{Lead time}$$

A fin de poder trabajarlo como un problema de optimización lineal, definimos la siguiente variable:

$$x1 = \Delta \text{ stock}$$

Sujeto a:

$$- 1 \leq x1 \leq 1$$

Considerando que la variación en el stock hace variar proporcionalmente al nivel de servicio. Es decir:

$$x1 = \Delta \text{ nivel de servicio}$$

$$\text{Nivel de servicio nuevo} = \text{nivel de servicio actual} * (1 + x1)$$

Por lo cual, las funciones expresadas se pueden plantear de la siguiente manera:

$$\text{Costo de oportunidad} = \sum_i^{\text{productos}} (\text{stock promedio} * (1 + x1) * \text{precio unitario})$$

$$\text{Costo de pérdidas} = \sum_i^{\text{productos}} (\text{stock promedio} * (1 + x1) * \text{precio unitario} * P(\text{pérdida}))$$

$$PFC = P(\text{producto crítico}) * \text{Órdenes} * (1 - \text{nivel de servicio} * (1 + x1)) * \text{Facturación diaria} * \text{Lead time}$$

$$PFnC = P(\text{producto no crítico}) * \text{Órdenes} * (1 - \text{nivel de servicio} * (1 + x1)) * \text{Facturación diaria}/10 * \text{Lead time}$$

### **Situación Actual**

El objetivo de este abordaje es encontrar la variación del stock mínimo establecido para cada producto y las unidades pedidas al realizar una orden. Siendo que al modificar el valor de x1, el resultado es una función lineal siempre creciente o decreciente, y calculando la derivada se puede comprender la tendencia de esta. Luego, para decidir cuánto debe aumentar o reducir el stock promedio: se aplica la siguiente lógica: si se necesita reducir el stock, se reduce de tal forma que lo

---

<sup>1</sup> Es importante remarcar que a fin de modelar el costo de no tener repuestos no críticos, consideramos que estos impactan en un 10% de la facturación en relación a lo que impacta no contar con un repuesto crítico.

haga rotar aproximadamente 1 vez por año (sto = 1), si se necesita aumentar el stock, se aumenta en un 25%. Con estos resultados, se modifican las reglas de stock mínimo y de volumen de pedido. Por último, se calcularon los KPIs resultantes y costos totales actuales de gestión de inventarios en el subset de artículos resultan ser de \$35,935,417, el detalle por cluster se pueden observar en la siguiente tabla:

cluster	Costo Oportunidad Actual	Costo Perdidas Actual	Costo Perdidas de Facturacion Actual	Costos Totales Actuales
1	\$3,402,785.22	\$0.00	\$396,302.16	\$3,799,087.38
2	\$6,574,200.47	\$22,061.08	\$2,653,667.41	\$9,249,928.96
3	\$9,385,006.19	\$191,623.85	\$1,946,006.65	\$11,522,636.70
4	\$3,033,112.38	\$3,357.65	\$8,327,294.73	\$11,363,764.75
<b>Grand Total</b>	<b>\$22,395,104.25</b>	<b>\$217,042.57</b>	<b>\$13,323,270.96</b>	<b>\$35,935,417.78</b>

Tabla 2: Costos Totales actuales de Gestión de Inventarios por cluster

## Resultados

Se comprende que al realizar este análisis se simplifica la realidad, que hay restricciones que no se consideran y que aumentar o incrementar el stock ilimitadamente no es una solución pragmática. Es por esto que considerando la tendencia en la variación del costo y en relación a la variación del stock promedio se definió si aumentar o reducir el stock, y luego el nivel de éste fue establecido a partir de la heurística de negocio, mencionada anteriormente. A su vez, se comprende a esta solución como una solución baseline, la cual se pretende superar en la próxima experimentación.

### Cluster 1

Tendencia **positiva**, es decir a medida que se aumenta el stock, también aumenta el costo.

Ahora para definir cuánto variará el stock, siendo que este cluster contempla a los artículos de alto valor y baja rotación, se busca que los productos roten al menos 1 vez por año y estar cubierto frente a las posibles pérdidas, roturas y robos. Entonces se calcula el stock ideal, es decir la cantidad de cada SKU que debería tener almacenados para satisfacer esta condición y se halló que lo ideal es reducir en un **23%** el stock promedio, ergo, el stock mínimo y de volumen de pedido para los artículos de este cluster.

Entonces la distribución de los stocks mínimos de los productos de este cluster varía de la siguiente manera:

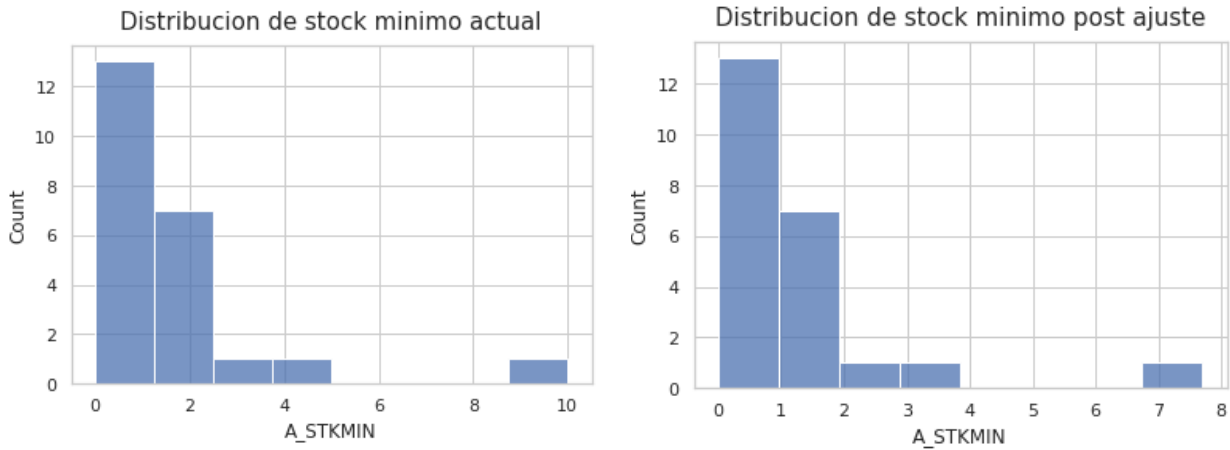


Imagen 21 y 22: Distribución del stock actual en el cluster 1 y distribución post implementación

Los resultados económicos que genera esto es una reducción de costos de gestión de inventarios de un **22%**, es decir los costos en este cluster serían de **\$2,942,945.03** unidades monetarias en caso se hubiese usado esta heurística.

#### Cluster 2

Tendencia **positiva**, es decir a medida que se aumenta el stock, también aumenta el costo. Estos productos tienen alta rotación y alto valor, y también tienen un alto porcentaje de productos críticos. A partir de esto último, se identificó una oportunidad de mejora de reducir en un **10%** el stock promedio almacenado al reducir en esa misma magnitud el stock mínimo y de volumen en cada pedido. Se observa que reducir aún más el stock puede generar problemas relacionados a tener un colectivo parado mucho tiempo lo cual no solo genera facturación perdida si no otros costos y problemas de negocio que no se consideran en el modelo.

Los costos totales post ajuste serían entonces de **\$7.260.239.63**, lo cual representa una reducción de **21** puntos porcentuales frente a lo actual.

Los stocks mínimos variarán de la siguiente forma:

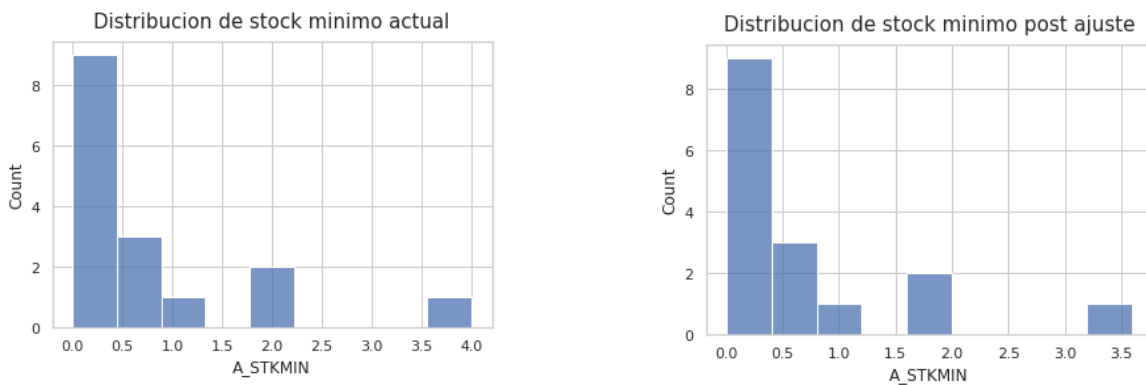


Imagen 23 y 24: Distribución del stock actual en el cluster 2 y distribución post implementación

Cluster 3

Este cluster, que representa a los artículos con baja rotación y bajo valor, presenta una tendencia **positiva** también, explicitando que está sobre stockeado y debería reducir el stock promedio almacenado. Aquí se aplicó la misma heurística que al cluster 1 y se busca que el stock que satisfaga la condición de que gire una vez al año y considere los posibles robos, roturas y pérdidas. Con ello, se halló que la variación del stock debería ser reducirlo en un **57%**. Esto reduce el costo total de gestión de inventarios en un **46%**, pasando a **\$6.197.490.79** unidades monetarias.

Los stocks mínimos variarán de la siguiente forma:

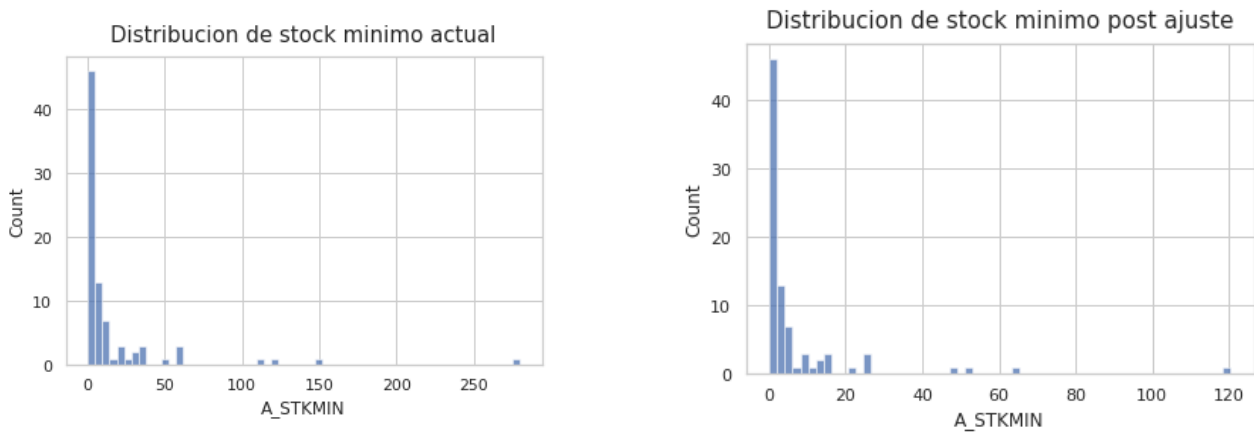


Imagen 25 y 26: Distribución del stock actual en el cluster 3 y distribución post implementación

Cluster 4

Finalmente, el cluster 4, que concentra a los artículos de bajo precio y alta rotación. Este presenta una tendencia **negativa**, es decir es necesario aumentar el stock promedio puesto que tiene muchos artículos críticos y un elevado lead time, generando así pérdidas en la facturación muy elevadas. A partir de ello se recomienda aumentar el stock promedio en un **25%** de tal forma que se pueda reducir el costo total de gestión de inventarios en un **66.5%**.

Variación de los stocks mínimos con este aumento:

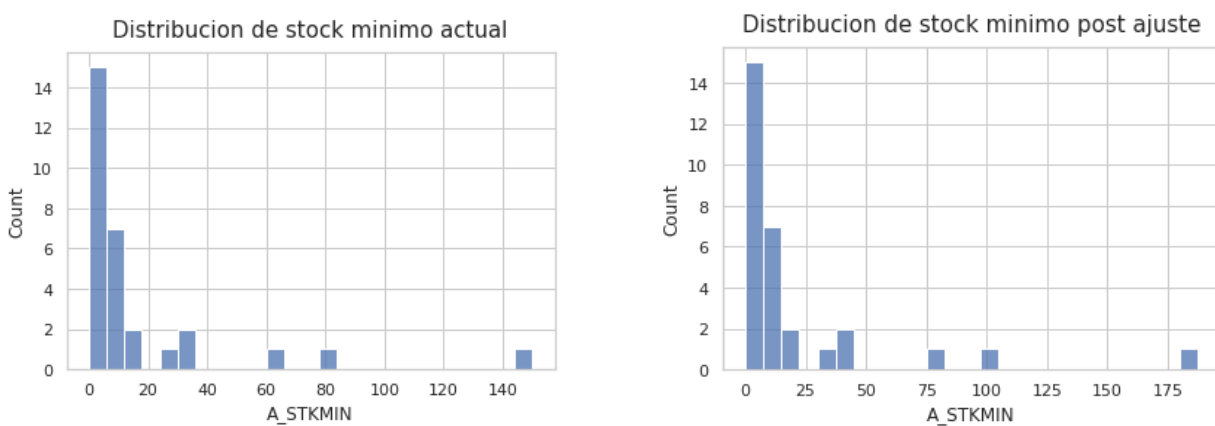


Imagen 27 y 28: Distribución del stock actual en el cluster 4 y distribución post implementación



En síntesis, en caso de que se consideren estas reglas, la contribución general sumando los beneficios de cada cluster resultaría en una reducción del costo total de inventarios del **39.21%** lo cual representa un ahorro aproximado de **\$15,739,154** unidades monetarias anuales.

## Experimentación 2

A partir de los resultados obtenidos en la experimentación 1 y entendiendo que este sería el abordaje acorde si la situación actual se encontrara dentro de la frontera de Wilson, se procedió a buscar otro enfoque para resolver la problemática. Debido a que la situación de hoy en día no se encuentra optimizada y no se puede asegurar que se encuentra dentro de las combinaciones lineales de la ecuación planteada, resolviendo el problema por optimización lineal se podrían estar pasando por alto cuestiones relacionadas con las bases de la gestión de inventarios. Es por esto que se decidió calcular los indicadores y métricas básicas del manejo de inventarios como el punto de reorden, cantidad de órdenes, stock de seguridad para las piezas elegidas y luego, a partir de estos, utilizar la optimización lineal para determinar cuál es el nivel de servicio que optimiza el ahorro del Grupo. Discerniendo siempre entre los clusters y entre productos críticos y no críticos. El objetivo es superar la solución baseline planteado en la Experimentación 1.

En este escenario primero se calcularon los stocks de seguridad para cada producto, determinando cuánto porcentaje de la variabilidad de la demanda que se desea cubrir. A partir de la siguiente fórmula:

$$SS = z * \sqrt{\bar{P}\sigma_d^2 + \bar{D}_d^2\sigma_1^2}$$

$\bar{P}$  = plazo medio de entrega en días (sin dimensión en este caso).  
 $\sigma_d^2$  = variación de la demanda por día.  
 $\bar{D}_d$  = demanda media por día.  
 $\sigma_1^2$  = variación en el plazo de entrega (en este caso sin dimensión).

La palanca de decisión se encuentra en el valor Z, que corresponde al nivel de servicio deseado para los repuestos. Para definir esto, se diferencié entre productos críticos y no críticos y luego entre cluster para los productos no críticos a fin de encontrar el valor Z que maximiza el Ahorro (o minimiza el Costo Total de Gestión de Inventarios). Siendo 80% el valor actual de Nivel de Servicio en promedio para todos los repuestos, siguiendo una lógica de negocio se decidió que no se puede reducir más de 10 puntos porcentuales y puede aumentar hasta 100%. Es decir, se buscará cuál es el valor Z tal que el nivel de servicio (o probabilidad p) dentro del intervalo [0.7, 1.0] que maximiza el ahorro para los productos críticos y lo mismo para cada cluster de productos no críticos.

Es importante resaltar que al stock de seguridad se le suma el valor de la orden promedio dividido 2 para entender cuánto stock promedio que se debería tener para poder estar cubiertos y sobre este stock promedio se computan todos los costos asociados.

Entonces se calculan los costos de oportunidad, de pérdidas y de facturación perdida para cada cluster utilizando esta lógica y tomando como stock promedio:

$$\text{Stock Promedio} = SS + (\text{Demanda} / \text{Pedidos mensuales} / 2)$$

\*Pedidos mensuales: 2 para los clusters con alto valor (1 y 2) y 1 pedido para los clusters con bajo valor (3 y 4)

### Situación Actual

La situación antes mencionada, la cual se toma como base, considerando el nivel de servicio del 80% es la siguiente:

cluster	Costo Oportunidad Actual	Costo Perdidas Actual	Costo Perdidas de Facturación Actual	Costos Totales Actuales
1	\$3,402,785.22	\$0.00	\$396,302.16	\$3,799,087.38
2	\$6,574,200.47	\$22,061.08	\$2,653,667.41	\$9,249,928.96
3	\$9,385,006.19	\$191,623.85	\$1,946,006.65	\$11,522,636.70
4	\$3,033,112.38	\$3,357.65	\$8,327,294.73	\$11,363,764.75
<b>Grand Total</b>	<b>\$22,395,104.25</b>	<b>\$217,042.57</b>	<b>\$13,323,270.96</b>	<b>\$35,935,417.78</b>

Tabla 2: Costos Totales actuales de Gestión de Inventarios por cluster

### Resultados

Se observa qué valores toma el ahorro total a medida que se varía el nivel de servicio en el intervalo [0.7, 1.0]. Entendiendo ahorro como la diferencia entre el costo actual y el costo siguiendo esta lógica.

#### Productos Críticos

Es trivial observar como en los productos críticos el máximo local se haya en 99%, por lo cual se comprende que fijando el nivel de servicio en 99% para los productos críticos y manteniendo un nivel de 80% para los no críticos, se pueden percibir ahorros cercanos a los \$24 millones.

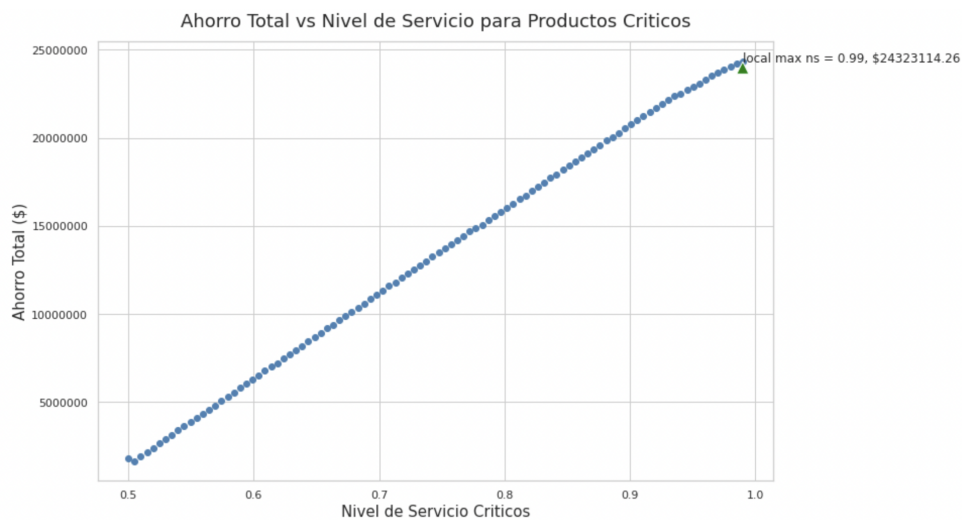


Imagen 29: Ahorro total vs Nivel de servicio para productos críticos

*Productos no Críticos*

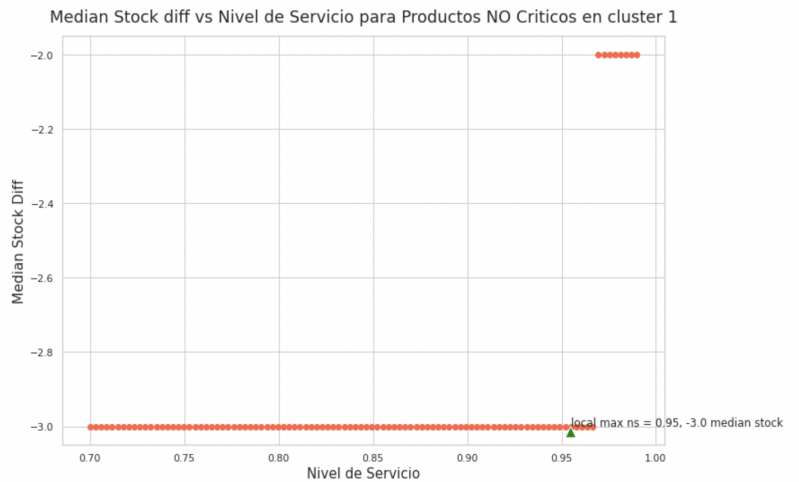
Ahora, ya conociendo el nivel de servicio óptimo para los críticos, se fija el nivel de servicio en 0.99 para estos y se varía el de los productos no críticos de tal forma que se pueda encontrar el que nivel que maximiza el ahorro para cada cluster.

*Cluster 1*

Para el primer cluster, se puede observar que el máximo de ahorro se encuentra fijando un nivel de servicio de 0.95 en los productos no críticos. Esto, sumado a fijar el nivel de servicio en 0.99 en los productos críticos, reduce 3 unidades en mediana el stock promedio en estos productos. Es decir, aún reduciendo el stock, de una manera más inteligente, se puede aumentar el nivel de servicio y ahorrar más dinero en la gestión de inventarios.



Imágen 30: Ahorro total vs Nivel de servicio para PNC cluster 1



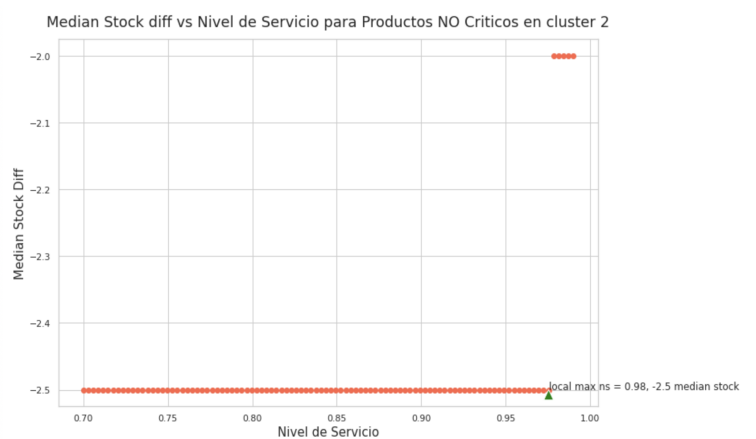
Imágen 31: Reducción mediana del stock PNC cluster 1

*Cluster 2*

Para el cluster 2, se halló que lo óptimo se encuentra en un nivel de servicio elevado, de 98 puntos porcentuales, generando que se reduzca en mediana 2.5 unidades el stock promedio de los productos pertenecientes a este cluster.



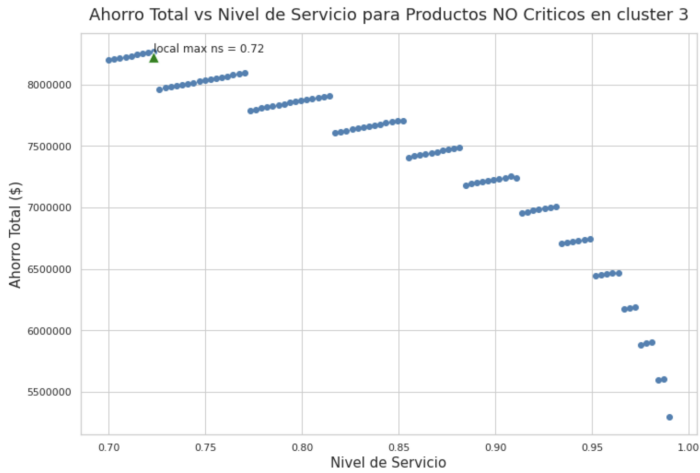
Imágen 32: Ahorro total vs Nivel de servicio para PNC cluster 2



Imágen 33: Reducción mediana del stock PNC cluster 2

Cluster 3

Para el cluster 3, se observa que el máximo ahorro se encuentra en un nivel de servicio de 0.72 puntos, de tal manera que se ubica por debajo del actual (0.8). Esto significa que en mediana, se reduce el stock promedio de los SKUs en 14.5 unidades.



Imágen 34: Ahorro total vs Nivel de servicio para PNC cluster 3



Imágen 35: Reducción mediana del stock PNC cluster 3

Cluster 4

Finalmente, para el cluster 4, se consigue el máximo ahorro aumentando el nivel de servicio hacia 0.98 y de tal forma, reduciendo en mediana 5 unidades el stock promedio de sus productos.



Imágen 36: Ahorro total vs Nivel de servicio para PNC cluster 4



Imágen 37: Reducción mediana del stock PNC cluster 4

Finalmente, utilizando los niveles de servicio óptimos para los productos no críticos desagregados por cluster, siendo estos:

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
95%	98%	72%	98%

Tabla 3: Niveles de servicio óptimos para productos no críticos

Tomando estos Niveles de servicio para los productos no críticos y un Nivel de servicio del 99% para todos los productos críticos, se obtuvieron los siguientes resultados económicos:

cluster	Costo Oportunidad Ahorro	Costo Perdidas Ahorro	Costo Perdidas de Facturacion Ahorro	Costos Totales Ahorrados
1	\$2,203,683.84	\$0.00	\$362,248.16	\$2,565,932.00
2	\$4,316,937.25	\$14,486.37	\$2,515,516.59	\$6,846,940.20
3	\$7,174,110.29	\$146,481.59	\$1,728,096.36	\$9,048,688.24
4	\$547,367.90	\$605.93	\$7,377,863.80	\$7,925,837.64
<b>Grand Total</b>	<b>\$14,242,099.29</b>	<b>\$161,573.89</b>	<b>\$11,983,724.91</b>	<b>\$26,387,398.09</b>

Tabla 4: Ahorros totales por cluster

Al calcular el ahorro relativo que significa esto tomando como base los costos actuales del subset de productos dentro del scope, se obtienen como resultado los siguientes números:

cluster	Costo de Oportunidad	Costo de Pérdidas	Costo de Facturación Perdida	Costos Totales
1	64.76%	0.00%	91.41%	67.54%
2	65.66%	65.66%	94.79%	74.02%
3	76.44%	76.44%	88.80%	78.53%
4	18.05%	18.05%	88.60%	69.75%
<b>Promedio</b>	<b>56.23%</b>	<b>74.44%</b>	<b>89.95%</b>	<b>73.43%</b>

Tabla 5: Ahorro relativo por cluster

Es decir, aplicando esta lógica se logra reducir aproximadamente **\$26 millones de pesos anuales**, significando un ahorro relativo del **73.43%**.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Los ahorros se calculan a partir del subset de los productos seleccionados dentro del scope del proyecto como artículos con oportunidad de mejora especificados en el inciso anterior.

## Conclusiones

En conclusión, se dividieron los artículos en cuatro clusters según la rotación del stock y el valor del artículo, tomando como scope de la solución el **3%** de los productos totales.

Luego, se logró experimentar con dos heurísticas para brindar una recomendación y solución superadora de la actualidad.

En primer lugar, se modeló el problema a través de una función para minimizar y se planteó a partir de está, distintas reglas y heurísticas para cada uno de los clusters en lo que respecta al stock mínimo almacenado que deberían tener y cuánto deberían ordenar cuando ordenan. Con las lógicas halladas, se logró reducir en un **39.21%** los costos totales de gestión de inventarios sobre el subset de productos seleccionados, lo cual representaba un ahorro de **\$15,739,154** unidades monetarias anuales. Esta solución luego fue tomada como base para intentar superar utilizando una lógica más exhaustiva y completa.

Luego, se modeló el problema a partir de las principales métricas e indicadores relacionadas con las políticas de gestión de inventarios y a partir de definir un stock mínimo, una cantidad de órdenes y definir el stock promedio, se logró dimensionar el impacto de no contar con sobrestock productos de baja y media rotación que actualmente representan el 20% del monto stockeado.

Esta experimentación dió como resultado un ahorro del **73.43%** de los costos de gestión de inventarios sobre el subset de productos seleccionados, representando **\$26,387,398** unidades monetarias anuales.

Para futuras iteraciones, se podría buscar un subconjunto nuevo de productos, comenzando por dimensionar el impacto de tener un forecast para predecir la demanda de los productos con alta rotación, para comprender si es un desarrollo en el que se debería invertir tiempo y recursos.