



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**“DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE INVENTARIOS  
MULTI-ESCALÓN MULTI-PRODUCTOS PARA UNA EMPRESA  
DEL SECTOR COMERCIO UBICADA EN EL  
ESTADO DE MÉXICO”**

TRABAJO TERMINAL DE GRADO QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

PRESENTA

**ING. GAEL ALMAZÁN MUNGUÍA**

DIRECTOR DE TRABAJO TERMINAL DE GRADO:

**DRA. LOURDES LOZA HERNÁNDEZ**

CO-DIRECTOR DE TRABAJO TERMINAL DE GRADO:

**DR. MANUEL GONZÁLEZ DE LA ROSA**

TUTOR ADJUNTO:

**M. EN I. SERGIO VÁZQUEZ ARANDA**

**TOLUCA, MÉXICO**

**8 DICIEMBRE 2022**

## **RESUMEN**

El presente trabajo se enfoca al diseño de una política de inventarios ajustada a las necesidades de una empresa del sector comercio ubicada en el Estado de México. Esta empresa actualmente tiene un sistema de inventarios de tres escalones, compuesta por una red de tiendas minoristas, un centro de distribución y una red de proveedores. La baja tasa de pedidos completos surtidos del centro de distribución a la red de minoristas es el principal motivo de la elaboración de este trabajo terminal de grado, con el que se pretende ayudar en la toma de decisiones en la cadena de suministro de la empresa, mediante el diseño de una política de inventarios adecuada a los productos que tengan mayor flujo en el centro de distribución. Este trabajo se limita únicamente al diseño de la política de inventarios por lo que no se abordarán temas de logística y red de distribución de los productos.

## NOMENCLATURA (GLOSARIO)

EOQ	Cantidad económica de pedido (por sus siglas en inglés Economic Order Quantity).
MINLP	Problema No Lineal de Enteros Mixtos (por sus siglas en inglés Mixed Integer Non Linear Problem).
SKU	Número de referencia único (por sus siglas en inglés Stock Keeping Unit).
ID	Número identificador del producto.
Fill rate	Tasa de demanda satisfecha.

## **TABLA DE CONTENIDOS**

1. Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Planteamiento del problema .....	4
1.3 Objetivo general .....	7
1.4 Objetivos particulares .....	7
1.5 Hipótesis .....	8
1.6 Justificación y alcances .....	8
1.7 Metodología .....	10
2. Marco Teórico .....	11
2.1 Revisión de literatura .....	11
2.2 Inventarios .....	19
2.2.1 Clasificación de políticas de inventario .....	20
2.2.2 Políticas de inventario multi-escalón .....	24
2.2.3 Políticas de inventario multi-producto .....	24
2.3 Métodos de pronósticos .....	25
2.3.1 Series de tiempo .....	26
2.3.2 Transformaciones .....	29
3. Marco metodológico .....	32
3.1 Descripción del caso de estudio .....	32
3.2 Clasificación ABC .....	33
3.3 Determinación de la demanda .....	39

3.4 Aplicación de políticas de inventario .....	41
3.4.1 Política de revisión periódica para envíos consolidados con demanda desconocida y sin descuentos por cantidades .....	42
3.4.2 Desempeño de la política actual .....	51
3.4.3 Análisis de sensibilidad para tiempos de revisión .....	58
3.4.4 Análisis de sensibilidad para costo de mantener inventario .....	61
3.4.5 Política de revisión periódica para envíos consolidados con demanda desconocida y sin descuentos por cantidades para pronósticos .....	63
4. Resultados .....	65
4.1 Comparación de desempeño política actual vs modelo de envíos consolidados .....	65
4.2 Comparación de desempeño actual vs modelo de envíos consolidados y envíos consolidados con R homogénea por proveedor .....	68
4.3 Análisis .....	70
5. Conclusiones .....	78
5.1 Aportes a la empresa caso de estudio .....	83
5.2 Recomendaciones .....	84
5.3 Trabajo futuro .....	85
Referencias .....	87
Anexos .....	92

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura de tres escalones para el caso de estudio .....	5
Figura 3.1. Cantidad de cajas surtidas por ID de producto desde el centro de distribución.....	36
Figura 3.2. Cantidad de cajas solicitadas por ID de producto al centro de distribución ..	36
Figura 3.3. Monto total de las cajas enviadas por ID de producto desde el centro de distribución a los minoristas.....	37
Figura 3.4. Cantidad de faltantes y niveles de inventario al inicio y final de cada semana del producto ID373 del proveedor A01 durante 2020.. .....	56
Figura 3.5. Curva de costos para análisis de sensibilidad en intervalos de revisión y su comparación con modelo sin R homogénea .....	61
Figura 3.6. Comportamiento del costo anual total variando el costo $r$ .....	63
Figura 4.1. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 18 .....	72
Figura 4.2. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 91 .....	72
Figura 4.3. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 106 .....	72
Figura 4.4. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 164 .....	72
Figura 4.5. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 291 .....	73

Figura 4.6. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 62 .....	75
Figura 4.7. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 12 .....	75
Figura 4.8. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 65 .....	76
Figura 4.9. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 76 .....	76
Figura 4.10. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 247 .....	76
Figura 4.11. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 176 .....	76
Figura 4.12 Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 357 .....	77
Figura 4.13. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 5 .....	77
Figura 4.14. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 360 .....	77
Figura 4.15. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 286 .....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Documentos con problemáticas similares al caso de estudio .....	18
Tabla 3.1 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor A01 .....	48
Tabla 3.2 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor D04 origen A... ..	49
Tabla 3.3 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor D04 origen B ... ..	50
Tabla 3.4 Cantidad de productos por proveedor dentro de la clase A .....	53
Tabla 3.5 Tabla de estimación de condiciones reales para el ID373 del proveedor A01 para el periodo 2020.....	54
Tabla 3.6 Datos de entrada y salida de estimación de condiciones reales para el producto ID373 del proveedor A01 durante 2020.....	57
Tabla 3.7 Tabla comparativa estimación de condiciones reales de política actual vs modelo de política con envíos consolidados .....	58
Tabla 3.8 Tabla comparativa de costos con respecto a política sin R homogénea para todos los productos .....	60
Tabla 3.9 Costo anual total del modelo de envíos consolidados para datos del proveedor A01, periodo 2020 con variaciones en el costo $r$ .....	62
Tabla 3.10 Resultados generales del modelo de envíos consolidados para pronósticos calculados de los productos del proveedor A01 .....	64
Tabla 4.1 Resultados generales del modelo de envíos consolidados según el periodo de revisión de los productos para el periodo 2020 .....	66

Tabla 4.2 Resultados generales, estimaciones de condiciones reales de política actual vs modelo envíos consolidados vs modelo envíos consolidados con R homogénea para los productos del proveedor A01 .....	69
Tabla 4.3 Cantidad de faltantes y fill rate semanal promedio en estimaciones de condiciones reales periodo 2020, para los IDs con costo simulado menor a modelo de envíos consolidados .....	71
Tabla 4.4 Niveles de inventario promedio y costos anuales totales en estimación de condiciones reales vs modelo de envíos consolidados en periodo 2020 para los IDs con mayor ahorro en costos. ....	75

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios rápidos que se dan en el mundo del comercio y a través de todos los tipos de industrias han obligado a las empresas, desde las pequeñas y medianas, hasta las grandes trasnacionales a replantear su modelo de negocios y las implicaciones que esto contiene. Es evidente que un elemento crucial para el correcto funcionamiento de las cadenas de suministro se remonta a la planeación de ellas.

Uno de los eslabones que forman a la cadena de suministro es el de inventarios, el cual da origen a este trabajo ya que además de tener una gran importancia dentro del funcionamiento de una empresa, también conlleva un problema que debe saber manejarse y controlarse de acuerdo con las características mismas de la cadena de suministro. Esto debido a que mantener un alto nivel de inventario incrementa los costos de la cadena pero se logra un nivel de servicio al cliente mayor (Ballou, 2004), situaciones que deben balancearse a través de la política de inventarios adecuada.

Este trabajo se enfoca en el diseño de una política de inventarios multi-escalón y multi-producto de una empresa del sector comercio que actualmente, debido a deficiencias en su política de inventarios, el indicador *fill rate* se ve afectado. Es por esto, que los tomadores de decisiones de la empresa desean implementar una nueva política que mejore el valor de este indicador a, por lo menos 90%. También se espera que el costo total del inventario de la aplicación de la nueva política se vea disminuido y los niveles de inventario de los productos se reduzcan.

En el capítulo 1 se describen y analizan a profundidad las condiciones actuales y necesidades de la empresa, así como los objetivos de este documento. En el capítulo 2 se realiza una revisión de literatura relativa a políticas de inventario y problemáticas similares a las del caso de estudio. También se describen metodologías y fundamentos de los métodos de pronósticos, políticas de inventario y transformaciones. Posteriormente, en el capítulo 3 se detalla el procedimiento de selección y categorización de productos, cálculos de pronósticos de demanda y la aplicación de la política de inventarios propuesta. Finalmente, en el capítulo 4 se analizan los resultados y se comparan con el desempeño de la política actual.

## **1.1 Antecedentes**

El sector comercio se divide en dos, según la metodología del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), comercio al por mayor y comercio al por menor. Este último comprende la venta de mercancías o productos incluyendo compraventa sin transformación, de bienes de consumo final para ser vendidos a personas y hogares, así como unidades económicas dedicadas una parte de este proceso de compra o venta.

El objeto de estudio de este documento se centra en el análisis histórico de los niveles de inventario y el diseño de una política de inventarios que mejore su

comportamiento dentro del centro de distribución de una empresa ubicada en el Estado de México dedicada a la comercialización de bienes de consumo. Lo anterior sirve como referencia para colocar a esta empresa dentro de la clasificación del sector comercio. Esto prioriza la búsqueda de literatura relacionada al manejo de inventarios de empresas del sector comercio, preferentemente con políticas de inventarios de tres escalones integrados por minoristas como el primero de ellos, un centro de distribución como el segundo escalón y proveedores como el tercer escalón (de derecha a izquierda), manteniendo flujo de artículos tanto perecederos y no perecederos, clasificándolos por la naturaleza de los problemas que tratan, los objetivos que persiguen y métodos de solución que se emplean en cada uno de ellos.

Como parte de una búsqueda preliminar, se encontraron veinte artículos con las características básicas de estudiar modelos de inventarios multi-escalón o multi-producto. Sin embargo, fueron identificados tres de ellos con características más parecidas a las que describen al caso de estudio. Estos se enfocan a políticas de inventarios multi-escalón con restricciones de espacio en almacén y cálculo de tamaño óptimo de pedido, el diseño óptimo de una cadena de suministro multi-escalón, el desarrollo de un sistema de inventarios de dos escalones para productos perecederos en un caso de estudio y la racionalización de stock en un modelo de inventario de revisión continua de dos escalones.

El desarrollo de este trabajo está enfocado en la búsqueda de nuevas políticas de inventario aptas para los productos que tengan un mayor movimiento en inventarios y así mejorar la eficiencia en el flujo de información y volúmenes de pedidos entre minoristas, centro de distribución y distribuidores. Al mismo tiempo, se busca una reducción de costos que lo anterior genera, ya que, con el actual sistema de inventarios, se tienen bajas tasas de pedidos completos enviados a las tiendas detallistas desde el centro de distribución, actualmente estas tasas se encuentran alrededor del 60%. Esto se limitará a determinar la mejor política considerando las características del caso de estudio, sin abordar la red de distribución y logística de los productos seleccionados.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El desarrollo del problema se centra en una empresa del sector comercio, la cual, desde sus inicios, ha comercializado sus productos en puntos físicos o tiendas de autoservicio, tratándose principalmente de bienes de consumo y artículos de primera necesidad. Esta empresa, con origen en el sur del Estado de México, está estructurada a manera de un conjunto de proveedores que surten a su centro de distribución, el cual abastece de diferentes productos de su catálogo a sus más de cuarenta distribuidores, los cuales se ubican dentro de la misma entidad y en estados como Querétaro, Chiapas, Morelos, Guanajuato, Ciudad de México, Michoacán, San Luis Potosí y Veracruz.

Lo anterior lleva a la afirmación de que la estructura de su cadena de suministro está integrada por tres actores principales por donde fluyen y son almacenados los

productos comercializados. En primer lugar, se encuentra la red de más de cuarenta distribuidores o minoristas que son el punto de venta donde los clientes finales acuden a adquirir los productos ofrecidos en el catálogo comercial. El segundo es el centro de distribución, espacio físico de más de 50,000 m<sup>2</sup> distribuidos en doce naves industriales de diferentes niveles, andenes de carga y descarga en donde se ordenan, categorizan y almacenan los artículos. El tercer actor importante en esta cadena de suministro es la red de más de dos mil proveedores, empresas fabricantes o comercializadoras externas de productos que abastecen al centro de distribución.

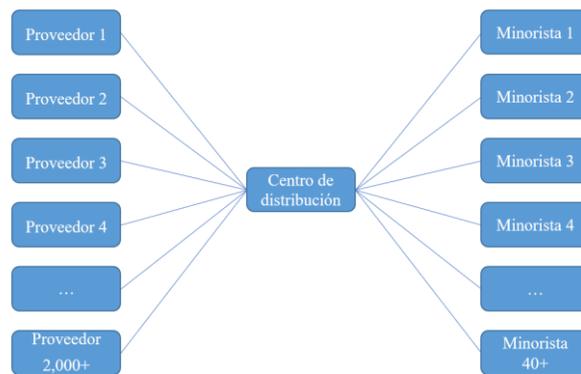


Figura 1.1. Estructura de tres escalones para el caso de estudio. Elaboración propia.

La empresa desde sus inicios ha tenido el mismo objetivo, vender en la modalidad de mayoreo y menudeo sus productos, contemplando principalmente la premisa de mantener siempre precios bajos accesibles a un sector medio de la población.

El negocio cuenta con modelo de ventas puramente tradicional. Esto quiere decir que tiene muchas instalaciones para estar cerca de los consumidores y que estos

interactúen con el producto, obteniendo información del producto al instante con personal de ventas y que al concretar la compra obtengan el producto que buscaban (Chopra & Meindl, 2013). Asimismo, no cuenta con ningún tipo de entregas a domicilio, ni la posibilidad de hacer compras por internet y recoger el pedido en tienda o bien recibir directamente el pedido puesto en línea en alguna dirección específica.

Este trabajo está enfocado a mejorar el desempeño de los inventarios dentro del centro de distribución de la empresa, el cual, como se ha definido anteriormente, cumple con la función de abastecer de diferentes productos a la red de pequeños detallistas en conjunto con la red de transporte. Por lo tanto, para la empresa sería de gran ayuda contar con un sistema de inventarios adecuado que le permita mantener en almacén cantidades suficientes de los productos con mayor movimiento en el centro de distribución, debido a que el sistema actual refleja un desempeño deficiente.

Actualmente uno de los mayores problemas que se tienen dentro del inventario del centro de distribución, es el manejo deficiente de productos de dos líneas o familias de productos identificadas como 1 y 2, por lo que la política de inventarios que se propone estará enfocada en mejorar el manejo de los productos de estos grupos con mayor importancia dentro del centro de distribución hacia los detallistas.

### **1.3 Objetivo general**

Proponer una nueva política de inventario multi-producto que permitan mejorar el flujo de productos en la empresa caso de estudio, mediante la mejora del costo anual total, nivel de inventario promedio y fill rate.

### **1.4 Objetivos Particulares**

Los objetivos particulares para alcanzar este objetivo:

- Analizar las políticas de inventarios que se emplean actualmente en la empresa y definir la información que será requerida para determinar una política de inventarios adecuada.
- Conocer la situación actual del caso de estudio, dando un enfoque profundo a las políticas de inventario actuales y su desempeño.
- Revisar literatura relacionada a las políticas de inventarios afines a la estructura general del caso de estudio, considerando el sector al que pertenece.
- Clasificar los productos de mayor importancia dentro del centro de distribución según los criterios de los tomadores de decisiones.
- Proponer una nueva política de inventarios con características multi-escalón para los productos seleccionados que mejore y facilite su manejo, considerando la estructura de la cadena de suministro del caso de estudio.
- Comparar la situación actual de los inventarios con los arrojados por la nueva política.

- Responder preguntas iniciales:
  - ¿Por qué las políticas actuales no satisfacen las necesidades de la empresa?
  - ¿Cuál es el comportamiento de la demanda a lo largo del tiempo que presentan los productos?
  - ¿Qué productos presentan mayor desabastecimiento?

## **1.5 Hipótesis**

H<sub>1</sub>: El diseño de una política de inventarios adecuada a los productos seleccionados de mayor importancia, mejora los indicadores costo anual total, nivel de inventario promedio y fill rate al centro de distribución del caso de estudio.

H<sub>2</sub>: La política de inventarios actual presenta un mejor desempeño que una política de inventarios diseñada para las condiciones y necesidades específicas de la empresa.

## **1.6 Justificación y alcances**

Los inventarios son parte de un conjunto de actividades funcionales que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo en las empresas, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor, por lo que es muy importante que estas organizaciones tengan un adecuado control de ellos. Los inventarios se hayan con frecuencia en lugares como almacenes, patios, pisos de las tiendas, equipo de transporte y en los estantes de las tiendas de menudeo. Tener estos inventarios disponibles puede tener un alto impacto en los costos anuales. Por lo tanto,

administrar cuidadosamente los niveles de inventario tiene un buen sentido económico (Ballou, 2004).

Mediante la recolección de información relevante de los productos que la empresa comercializa como ventas históricas de todos los productos en años anteriores, costos de inventarios, costos de transporte, etc., y posterior análisis, se desarrollan nuevas políticas de inventario para los productos que tienen mayor importancia para los tomadores de decisiones y así mejorar la eficiencia en el flujo de información y volúmenes de pedidos entre minoristas, centro de distribución y distribuidores, así como una reducción de costos que lo anterior genera, ya que, con el actual sistema de inventarios que se tiene implementado, se generan bajos niveles de fill rate enviados a las tiendas detallistas desde el centro de distribución, los cuales varían desde 30% hasta 85%.

Con la implementación de una nueva política de inventarios se espera un mejor desempeño en el manejo de pedidos y productos entre los tres escalones: la red de proveedores, el centro de distribución y la red de detallistas que acercan los productos a los clientes finales.

Este trabajo se limita a determinar la mejor política considerando las características del caso de estudio, sin abordar la red de distribución y logística de los productos seleccionados.

## **1.7 Metodología**

1. Identificación del problema.
2. Descripción del caso de estudio.
3. Revisión de literatura relacionada con las características propias del caso de estudio.
4. Análisis de la estructura del caso de estudio desde un enfoque de una política de inventario multi-escalón.
5. Clasificación y selección de los productos con mayor importancia en el centro de distribución (clasificación ABC).
6. Diseño de política de inventario para los productos seleccionados.
7. Análisis de los resultados obtenidos de las políticas de inventario aplicadas a los productos seleccionados.
8. Comparación de situación actual de los inventarios con la aplicación de la política propuesta de los productos seleccionados.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Uno de los mayores desafíos de las industrias es la integración y trabajo colaborativo de todos los niveles de la estructura organizacional y operativa, que conlleven al incremento del nivel de servicio con sus respectivos clientes y un incremento en el superávit de las cadenas de suministro. Lo anterior solamente puede lograrse mediante la planeación de actividades en todos los niveles, coordinación entre departamentos y supervisión en la ejecución de estrategias que lleven a las empresas a elevar su estatus y competitividad frente a otras.

El diseño de una cadena de suministro es un campo en crecimiento dentro del área gerencial y es examinada a fondo por medio de la investigación de operaciones, la cual tiene como propósito el diseñar estructuras organizacionales productivas bajo restricciones de tiempo, costo, producción y/o distribución con la premisa básica de minimizar costos o maximizar ganancias y beneficios (Petridis, 2015).

### **2.1 Revisión de literatura**

Con el fin de encontrar los artículos apropiados y emplearlos más adelante como material de consulta en el desarrollo de este trabajo terminal de grado, fue necesario definir palabras clave y para ello, se emplearon multi-escalón y multi-productos.

Inicialmente se dio prioridad a la búsqueda en español, pero dado que la mayoría de las publicaciones científicas en fuentes digitales está disponible únicamente en inglés,

resultó más conveniente seguir el proceso en este idioma. Cabe destacar que se consideró un periodo de revisión de 1999 a 2022.

Posterior a la búsqueda y recopilación de literatura con las características deseadas, se continuó con un análisis más cauteloso de los veinte artículos encontrados, con lo que nos damos cuenta de que los parámetros iniciales de búsqueda no son los únicos que debemos considerar para buscar implementar una nueva política en los inventarios, ya que, en el caso hipotético de querer hacerlo en el caso de empresas del sector comercio, hay factores importantes que definen las características de estas nuevas políticas, por ejemplo, la naturaleza de los productos que organizan.

Al dar una revisión del propósito de diversos artículos que estudian políticas de inventario multi-escalón y multi-producto, es posible notar que un grupo de ellos tiene como objetivo optimizar el tamaño de lotes en pedidos de reabastecimiento; por ejemplo Nagaraj & Selladurai (2002) estudian condiciones de cadena de suministro multi-producto y de múltiples etapas para determinar el tamaño óptimo de lotes mediante un modelo de lógica difusa, desarrollado y resuelto con ayuda de MATLAB, lenguaje de alto desempeño diseñado para realizar una gran cantidad de cálculos.

En cuanto a Jaruphongsa et al. (2004) en su artículo, tratan un problema enfocado en tamaño de lote dinámico de dos escalones para demandas con ventanas de tiempo y

sanciones por entrega anticipada y tardía; mientras que Lu & Qi (2011) abordan el dimensionamiento dinámico de lotes, pero ahora con diferentes productos dentro del mismo lote en el que se presentan dos situaciones diferentes concernientes a la demanda, en una de ellas, se da la oportunidad de rechazar pedidos y la otra en la que se impone que todas la demanda debe satisfacerse. Además, Varyani et al. (2014) deciden analizar una cadena de suministro en la cual se establece por objetivo el determinar la cantidad óptima de producción, al mismo tiempo que se calcula la cantidad óptima de pedido junto con su costo.

En un caso similar de dimensionamiento de lotes se encuentra en el trabajo de Gharaei et al. (2019) quienes abordan una problemática en una cadena de suministro multi-producto con múltiples compradores concentrada en establecer una política óptima de dimensionamiento de lotes con un costo total mínimo determinando el número de lotes de los productos transportados así como su volumen. Para dar solución a lo anterior, se empleó una aproximación externa con relajación de igualdad y penalización aumentada (por sus siglas en inglés Outer Approximation with Equality Relaxation and Augmented Penalty, OA / ER / AP), evitando así la complejidad de resolución a un problema de programación no lineal mixta.

Así como hubo trabajos encontrados a lo largo de la revisión de literatura, que abordan temas de dimensionamiento de lote, también se halló un grupo de artículos que

compartían la temática del cálculo del punto de reorden, tal es el caso de Van Der Heijden et al., (1999), quienes en su artículo tratan un sistema de inventarios en el que derivan un método computacional para obtener el nivel máximo de inventario y las fracciones de asignación necesarias para alcanzar determinadas tasas de reabastecimiento objetivo de un sistema de inventario dado, usando un método computacional para obtener dicho punto de orden. Thangam & Uthayakumar (2009) estudiaron un sistema de inventarios con distribución de dos escalones, consistente en el primer nivel como una red de minoristas o distribuidores idénticos y un único proveedor como segundo escalón considerando que en todas las instalaciones se maneja un inventario de revisión continua con el fin de encontrar puntos de reorden óptimos para tamaños de lote establecidos en todas las instalaciones a través de una función de costos.

El siguiente trabajo encontrado con temática similar a los dos inmediatos anteriores es el de Sadeghi (2015), quien se enfoca en una cadena de suministro de dos escalones con estrategia de inventario administrada por el proveedor para encontrar las frecuencias de reabastecimiento para minimizar el costo total de inventario, mediante un modelo de programación lineal de enteros mixtos resolviéndolo con ayuda de algoritmos genéticos.

Con frecuencia es posible encontrar literatura que tenga como finalidad modelar una cadena de suministro y reducir los costos totales, tal es el caso de Hajiaghaei-Keshteli

& Sajadifar (2010), quienes en uno de sus trabajos modelan una cadena de suministro de tres escalones, determinando su función de costo tomando como base el modelo de Axsäter de política uno a uno con ciertas modificaciones. Por otro lado, Alimardani et al. (2013) trabajaron en reducir el costo total de una cadena de suministro de tres escalones con restricciones como espacio limitado de almacenamiento y con una demanda con distribución de Poisson mediante un algoritmo de enjambre de partículas. Por su parte, Parjane et al. (2017) desarrollan un modelo matemático que minimiza el costo total de los eslabones de una cadena de suministro de dos escalones, con demanda de Poisson y otras características.

Contemplando las características de los modelos y soluciones propuestas en cuanto a minimización de costos de una cadena de suministro completa, se encontraron autores que decidieron enfocarse en un solo eslabón, el de inventarios. Tal es el caso de Hajiaghaei-Keshteli et al. (2011) quienes orientaron uno de sus artículos en el cálculo de un costo esperado del sistema de inventario de una cadena de suministro de tres escalones al incorporar implícitamente la función de distribución de retraso aleatorio. Shafieezadeh & Sadegheih (2014) proponen un modelo de gestión de inventario integrado dentro de una cadena de suministro de tres escalones desarrollando un modelo matemático no lineal mixto entero que debido a la complejidad que conlleva resolverlo, se usa un algoritmo metaheurístico. Asimismo, se tiene el caso de una cadena de suministro de condiciones reales y varias limitaciones o restricciones en tiempo de producción, nivel de inventario,

etc. A la que minimizan el costo de mantenimiento mediante el uso de un algoritmo genético en MATLAB para resolverlo (AriaNezhad et al., 2013).

Fueron Zijm & Timmer (2008) quienes establecieron como objetivo eliminar una ineficiencia de costos existente entre sistemas centralizados y descentralizados de inventarios empleando un método de dos mecanismos de coordinación: uno para sistemas de transmisión en serie y otro para sistemas de distribución. Dos años más tarde, es publicado un artículo elaborado por Jain & Raghavan (2009) dentro del cual, se realiza un análisis de rendimiento de una red de la cadena de suministro de dos escalones en un entorno estocástico para pedidos por lotes en tres casos diferentes con el uso de modelos de cola. Además, Liu et al. (2020) tratan una problemática de una cadena de suministro coordinada sujeta a interrupciones de suministro aleatorias en donde se consideran limitaciones por incertidumbre en la demanda y plazos de reabastecimiento, lo cual fue resuelto con un enfoque de dos fases basado en la teoría de colas y un algoritmo genético híbrido.

Song & Xue (2021) introducen un modelo para el análisis de inventarios multi-productos con la estrategia de agrupamiento y cómo esto afecta a la toma de decisiones dentro de la empresa. En su trabajo, también se analiza la decisión óptima de empaquetamiento y su dependencia con los costos, niveles de inventario e incertidumbre de la demanda. Asimismo, Kaur et al. (2022) presentan un modelo que se encarga de

suprimir la vaguedad de factores, tanto cualitativos como cuantitativos, de un proceso de toma de decisiones multi-criterio en un entorno borroso de Pitágoras para la elección de una política de inventario adecuada dentro de una cadena de suministro.

Shen et al. (2022) trabajan en un problema de una cadena de suministro multi-escalón, en el que los pedidos de los clientes se cotizan con una ventana de tiempo de cumplimiento fija u objetivo de tiempo de servicio. Los autores usan programación dinámica para determinar una política óptima para la cadena de suministro con las características mencionadas.

Además de los artículos descritos, se encontraron tres trabajos en donde se aplican los sistemas de inventarios multi-producto y multi-escalón que resuelven problemáticas con características aún más similares a las del caso de estudio. En la tabla 1.1 se describe brevemente el objetivo y un pequeño pero puntual resumen de cada uno de ellos.

Tabla 1.1 Documentos con problemáticas similares al caso de estudio.

<b>Autor (año)</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Resumen</b>
Axsäter et al. (2004)	Establecer una política de inventario que balancee el costo más elevado de no satisfacer la demanda de clientes directos que el costo de no satisfacer un pedido de reabastecimiento de un minorista. Es decir, establecer un nivel de servicio más alto para la demanda directa del cliente.	Se introduce una política de nivel crítico en el almacén; para cada minorista se establece un nivel crítico de modo que el pedido de reabastecimiento de un minorista se satisfaga con las existencias del almacén si y solo si el nivel de existencias está por encima del nivel crítico del minorista.
Petridis (2015)	Diseño óptimo de una red de suministro multi-producto y escalonado bajo incertidumbre de la demanda.	Con un MINLP se ofrecen decisiones de estructura de la red, capacidades, transporte y nivel de inventarios de productos en una red de cadena de suministro multi-escalón y multi-producto con demanda y tiempo de entrega de distribución normal con probabilidades de que algunos productos queden sin stock.

Autor (año)	Objetivo	Resumen
Hoseini Shekarabi et al. (2019)	Determinar el número óptimo de lotes para un costo total mínimo cumpliendo con restricciones estocásticas de una cadena de suministro multi-producto y multi-escalón.	Se modela una cadena de suministro integrada multi-producto, multi-mayorista y multi-escalón, bajo escasez y espacio limitado en almacén con dos objetivos, determinar el número óptimo de lotes y su volumen óptimo para minimizar el costo total de la cadena de suministro.

Fuente: elaboración propia.

## 2.2 Inventarios

“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” (Ballou, 2004). Uno de los eslabones que forman a la cadena de suministro es el de inventarios, el cual además de tener una importancia dentro del funcionamiento de una empresa, también conlleva a tomar acciones de manejo y control. Una de las principales preocupaciones es mantener un alto nivel de servicio al cliente con el mínimo nivel de inventario, situaciones que deben balancearse a través de las políticas de inventario adecuadas.

Las variables de decisión clave en inventarios son qué artículos mantener en inventario (materia prima, productos en proceso y terminados), cuánto y cuándo ordenar (políticas de inventario) y dónde mantener el inventario (ubicaciones) (Ravindran & Warsing Jr., 2016).

### **2.2.1 Clasificación de políticas de inventarios**

Dado que en todas las empresas se manejan inventarios con diferentes tipos de productos o bienes, la manera en cómo se controlan puede variar; es decir, que hay diferentes políticas con las que se regula su movimiento y almacenamiento, entre las cuales se pueden encontrar las siguientes:

***Control de inventarios por demanda determinística:*** La característica principal de estos modelos es que están formulados a partir de una demanda conocida. En los métodos que se mencionan a continuación, se determina la política de inventario adecuada con este tipo de demanda y con ella, la cantidad económica de pedido (EOQ, Economical Order Quantity), que es el tamaño de lote que minimiza el costo total de la compañía (Chopra & Meindl, 2013):

- *Algoritmo de Wagner-Whitin.* Método de programación dinámica que calcula la frecuencia de pedidos y su costo.
- *Heurístico de Silver-Meal.* Es un algoritmo heurístico utilizado frecuentemente para tener una solución cercana a la óptima.

- *Heurístico de balance de costos de ordenar y mantener inventario.* A diferencia de la solución óptima calculada como EOQ, los costos de ordenar y mantener inventario son diferentes. En este heurístico, como en los dos anteriores, se calcula cuándo pedir un nuevo lote de productos y su costo, sin embargo, este heurístico no es tan efectivo como el Silver-Meal.

***Control de inventarios para demanda estocástica:*** El control avanzado de inventarios por demanda significa que la demanda y el tiempo de entrega no se pueden conocer con seguridad (Ballou, 2004).

- *Método de revisión periódica.* Este método de control de inventarios, bajo controles de revisión periódica, pueden revisarse al mismo tiempo los niveles de inventario para múltiples artículos y, en consecuencia, pueden solicitarse juntos, para lograr economías de producción, transportación o compras (Ballou, 2004). En este método, el nivel de inventario se revisa cada  $T$  periodos de tiempo y un nuevo pedido máximo  $S$  se coloca en el punto de reorden  $s$ . Este modelo también es conocido como  $(s,S)$ . Algunas variaciones de este modelo son:
  - *Modelo de revisión periódica con demanda incierta para pedidos de artículo único y pedidos conjuntos:* La oportunidad de pedir múltiples artículos simultáneamente en la misma orden puede generar ganancias económicas por diferentes motivos, como descuentos por precio o volumen de pedido. Una política de inventario de pedido conjunto exige la determinación de tiempos de revisión del inventario para los artículos que se solicitan conjuntamente.

Posteriormente, se calcula el nivel máximo de inventario individual de los productos según los costos involucrados y el nivel de servicio deseado (Ballou, 2004).

- *Sistema (R,S,s)*. La idea principal de funcionamiento de este sistema es revisar cada R unidades de tiempo el nivel de inventario y que, en caso de que se encuentre en punto de reorden s, se coloque una nueva orden de pedido. Con esta nueva orden se deberá llegar a un nivel máximo de inventario, denominado S. En el caso en el que el nivel sea mayor que s, no se coloca ninguna orden de reabastecimiento y se espera al siguiente punto de revisión (Silver et al., 2016).
- *Método del punto de reorden o de revisión continua*. Este método, también usado con demanda determinística, se supone que la demanda es perpetua, es decir, que es continuo y sin interrupciones que requiere de un monitoreo constante de los niveles de inventario (Ballou, 2004). A este modelo a menudo también se le conoce como modelo (Q,R) donde R representa el punto de reorden, o sea el valor de inventario bajo el cual una orden de reabastecimiento es colocado para Q unidades (Ravindran & Warsing Jr., 2016). Algunas variaciones de este método son:
  - *Modelo del punto de reorden con demanda incierta*. En este modelo, al igual que el método de revisión continua simple, cuando el inventario se reduce hasta el punto en el que su nivel es igual o menor que una cantidad específica llamada el punto de reorden, se coloca una cantidad económica de pedido de  $Q^*$  en el punto de suministro para reponer el inventario. Sin embargo, en este modelo al existir demanda incierta, entre el momento en el que se reabastece el pedido

al punto de reorden y cuando el mismo llega al almacén hay riesgo de que la demanda exceda a la cantidad que queda en el inventario (Ballou, 2004).

- *Método del punto de reorden con tiempos de demanda y entrega inciertos.* El método del punto de reorden consiste esencialmente en que, cuando el inventario de un producto se reduce hasta el punto en el que su nivel es igual o menor que una cantidad específica, llamada el punto de reorden, se coloca una cantidad económica de pedido de  $Q^*$  en el punto de suministro para reponer el inventario (Ballou, 2004). Sin embargo, para los sistemas en que la demanda y los tiempos de entrega son inciertos, existe la posibilidad de que entre el momento en que se coloca un pedido de reabastecimiento y en el que se recibe, la demanda real exceda los niveles de inventario existente, por lo que es necesario contar con una cantidad adicional que amortigüe y evite que estos incrementos en la demanda provoquen una falta de existencias del producto y, en consecuencia, una disminución en ventas. Este método tiene como propósito calcular dicha cantidad adicional de inventario mediante el análisis de las distribuciones de frecuencias de demanda y de tiempos de entrega para lograr un mejor control y un costo total más bajo.
- *Método de determinación simultánea de  $s$  y  $Q$  para artículos de rápido movimiento.* Este modelo considera la naturaleza de alto movimiento de artículos muy importantes dentro del inventario en donde se considera que puede ser más valioso determinar  $s$  y  $Q$ , es decir, el punto de reorden y el tamaño de pedido simultáneamente (Silver et al., 2016).

### **2.2.2 Políticas de inventario multi-escalón**

Los sistemas de inventario multi-escalón tienen como objetivo el almacenamiento y distribución de uno o más productos en diferentes espacios físicos de la cadena de suministro, es decir, administrar el inventario a través de múltiples instalaciones. A menudo se encuentra la situación de una sola compañía toma decisiones de inventario en múltiples ubicaciones, tales como ubicaciones de ensamblaje, almacenes y puntos de venta. El manejo de inventario en un sistema multi-escalón se torna complejo debido a que la demanda en un almacén central es dependiente de la demanda en las sucursales y, a su vez, la demanda de las sucursales es dependiente de la demanda en los puntos de venta (Silver et al., 2016).

Estas políticas controlan inventarios de cadenas de suministro con demanda determinística, estocástica y variante con el tiempo. Los métodos multi-escalón ayudan a determinar cuánto inventario mantener en las instalaciones de los minoristas y cuánto en el almacén de la misma empresa (Silver et al., 2016).

### **2.2.3 Políticas de inventario multi-producto**

La característica principal de estos modelos de inventarios es que, a diferencia de los anteriormente descritos, se considera un escenario en donde más de un producto se puede ordenar de forma conjunta en un solo lote, de tal manera que se tiene una disminución en el costo fijo de transporte. Estas políticas de inventario pueden enfrentar los dos tipos de

demanda que se mencionaron anteriormente, demanda determinística y demanda estocástica.

### **2.3 Métodos de pronósticos**

La planeación de la demanda es un proceso que todo tipo de industria debe manejar independientemente del tipo de producto que dote sus inventarios. La demanda es usualmente de dos tipos: dependiente e independiente. Para el caso primero, no hay necesidad de hacer un cálculo de pronósticos específico para el producto, puesto que su demanda se definirá por otro que, a su vez, puede también tener demanda dependiente o independiente según sea el caso. Generalmente los artículos con demanda dependiente son productos terminados, mientras que aquellos con demanda independiente suelen ser componentes del producto terminado. Por lo tanto, para los productos, artículos o componentes que tienen la característica específica de ser de demanda independiente, los pronósticos de demanda deberán ser calculados para lograr una planeación de niveles de inventario satisfactoria y en la medida de lo posible, empatar oferta y demanda.

La incertidumbre a la que están sujeta la demanda es un factor importante para la gestión del inventario. Las decisiones de planificación de inventario casi siempre implican la asignación de recursos en presencia de incertidumbre de la demanda (Silver et al., 2016). Esta incertidumbre puede depender de factores externos al entorno de la cadena de suministro.

### 2.3.1 Series de tiempo

Las series de tiempo predicen observaciones futuras basándose en valores pasados de una variable y/o en errores pasados. Sin embargo, descarta variables explicativas que pueden afectar el sistema entero. El objetivo de utilizar series de tiempo para pronósticos es descubrir el patrón en el comportamiento histórico de las series de datos y extrapolar dicho patrón al futuro (Makridakis et al., 1998).

#### Promedios móviles

Llamamos al promedio móvil de orden  $k$  a la media aritmética calculada sobre  $k$  valores sucesivos de la serie de tiempo. El método de promedios móviles puede lidiar con casi cualquier tipo de datos, siempre que estos sean no estacionales y no tengan tendencia (Makridakis et al., 1998). Generalmente, un promedio móvil centrado de orden  $j$  se calcula haciendo el promedio móvil de orden 2 del promedio móvil de orden  $k$  de la serie de tiempo inicial (Vogt, 2008). Una serie de promedios móviles de orden  $k$  por medias aritméticas se presenta como se muestra en (2.1):

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k}{k}, \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{k+1}}{k}, \dots, \frac{Y_{N-k+1} + Y_{N-k+2} + \dots + Y_N}{k} \quad (2.1)$$

Notación:

$k$ : orden de la serie de promedios móviles.

$Y_t$ : Observación en el periodo  $t$ .

$N$ : Número de periodos de la serie.

### Método de Winters

El método de Winters se usa convenientemente cuando los datos a analizar tienen las características de ser estacional y que muestran cierta tendencia. Esta técnica tiene como base tres componentes de suavizamiento, uno para nivel, otro para tendencia y la última para estacionalidad (Makridakis et al., 1998). Además, el método de Winters puede emplearse bajo dos distintas variantes: *multiplicativa* o *aditiva*. Las fórmulas para el cálculo de cada modelo se muestran a continuación: El nivel, tendencia, estacionalidad y pronósticos para el modelo multiplicativo del método de Winters se calculan con ayuda de las ecuaciones 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 respectivamente. Para el caso del modelo aditivo se emplean:

Modelo multiplicativo:

$$\text{Nivel: } L_t = \alpha \left( \frac{Y_t}{S_{t-p}} \right) + (1 - \alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad (2.2)$$

$$\text{Tendencia: } y(L_t - L_{t-1}) + (1 - y)T_{t-1} \quad (2.3)$$

$$\text{Estacionalidad: } S_t = \delta \left( \frac{Y_t}{L_t} \right) + (1 - \delta)S_{t-p} \quad (2.4)$$

$$\text{Pronósticos: } \hat{Y}_t = (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p} \quad (2.5)$$

Modelo aditivo:

$$\text{Nivel: } L_t = \alpha(Y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad (2.6)$$

$$\text{Tendencia: } y(L_t - L_{t-1}) + (1 - y)T_{t-1} \quad (2.7)$$

$$\text{Estacionalidad: } S_t = \delta(Y_t - L_t) + (1 - \delta)S_{t-p} \quad (2.8)$$

$$\text{Pronósticos: } \hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p} \quad (2.9)$$

$$0 \leq \alpha, y, \delta \leq 1.$$

Notación:

$L_t$ : El nivel en el tiempo t.

$\alpha$ : ponderación para el nivel.

$T_t$ : tendencia en el tiempo t.

$y$ : ponderación para la tendencia.

$S_t$ : componente estacional en el tiempo t.

$\delta$ : ponderación para el componente estacional.

$p$ : periodo estacional.

$Y_t$ : valor de los datos en el tiempo t.

$\hat{Y}_t$ : valor ajustado o pronóstico de un periodo adelante, en el tiempo t.

## Método de descomposición

El método clásico de descomposición tiene dos formas principales, multiplicativa y aditiva. Esta última se representa con la ecuación 2.10:

$$y_t = S_t + T_t + R_t \quad (2.10)$$

Notación:

$y_t$ : Observación en el periodo  $t$ .

$t$ : Periodo en la serie.

$S_t$ : Componente estacional.

$T_t$ : Componente de ciclo de tendencia.

$R_t$ : Componente de error.

De forma alternativa, la descomposición multiplicativa se describe con la ecuación 2.11:

$$y_t = S_t \times T_t \times R_t \quad (2.11)$$

### 2.3.2 Transformaciones

Es común el caso en que los datos históricos de un modelo o fenómenos resultan ser demasiado complejos y complicado de interpretar. A causa de esto, el ajuste o transformación de dichos datos llevará a un mejor modelo de pronósticos (Makridakis et al., 1998). A continuación, se describen diferentes tipos de transformaciones que facilitan el ajuste de datos históricos a modelos de pronósticos.

## Transformación logarítmica

Una técnica utilizada frecuentemente en modelos de regresión, es la construcción de modelos lineales con la finalidad de describir las relaciones entre variables (Ortiz Pinilla & Gil, 2014). Las estimaciones del modelo, utilizando transformación logarítmica, se obtienen con la ecuación 2.12:

$$\ln(y) = \ln \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.12)$$

Notación:

$\beta_0$ : Estimador del término  $b_0$ .

$\beta_1$ : Estimador de  $b_1$ .

$y$ : Valor de la observación sin transformar.

$\hat{y}$ : Valor transformado al modelo original.

$\varepsilon$ : Error del modelo con transformación logarítmica.

En donde las estimaciones de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son calculadas con 2.13 y 2.14 respectivamente:

$$b_1^* = \frac{cov(x, \ln(y))}{var(x)} \quad (2.13)$$

$$b_0^* = \overline{\ln(y)} - b_1^* \bar{x} \quad (2.14)$$

Asimismo, se sabe que, con la transformación logarítmica aplicada, estos datos pueden regresarse al modelo original con transformaciones inversas mediante la ecuación 2.15:

$$\hat{y} = e^{b_0^*} e^{b_1^* x} \quad (2.15)$$

Los errores del modelo con transformación logarítmica son calculados con la ecuación 2.16:

$$\varepsilon = \ln(Y) - \ln(\beta_0 e^{\beta_1 x}) = \ln\left(\frac{Y}{\beta_0 e^{\beta_1 x}}\right) \quad (2.16)$$

### **Transformación de Box-Cox**

La transformación de Box-Cox consiste en una familia de potencias que aporta aditividad, normalidad y homocedasticidad a conjuntos de datos. Este último término refiere que los residuos tienen varianza constante (Makridakis et al., 1998). El objetivo principal de hacer un análisis de datos usando la transformación de Box-Cox es hacer inferencia en el parámetro de transformación  $\lambda$  (Samaniego, 2011), cuyo valor pueden variar entre -1, 0, 0.5 y 1. En la ecuación 2.17 se muestra la forma original de la transformación:

$$y^\lambda = \begin{cases} (y^\lambda - 1)/\lambda & (\lambda \neq 0), \\ \log y & (\lambda = 0) \end{cases} \quad (2.17)$$

Notación:

$y$ : Observación o dato sin transformar.

$\lambda$ : Parámetro de transformación de valor vectorial.

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Descripción del caso de estudio**

Como se explicó anteriormente, la empresa caso de estudio, cuenta con una red de minoristas mediante los cuales, se comercializa al público la amplia diversidad de productos que ofrece. Para hacer llegar a los clientes los productos que adquieren, se recurre al centro de distribución desde donde se envían pallets con mercancía en diferentes cantidades según las necesidades de cada una de las tiendas minoristas. Lo anterior se hace mediante pedidos automáticos que el sistema de información de cada una de las tiendas coloca al centro de distribución y/o mediante el ingreso manual por parte de sus respectivas gerencias en caso de ser un pedido especial. Asimismo, una red de proveedores surte al centro de distribución desde diferentes almacenes a partir de órdenes de compra que el departamento de abastecimiento coloca.

Actualmente los productos se categorizan en 24 diferentes familias, a las que, internamente se denominan líneas. Cada línea tiene productos con mayor importancia que otras y hasta el inicio de la elaboración de este trabajo, la experiencia e intuición del personal a cargo de la administración del centro de distribución, definían cuales productos son los que generan mayor impacto en los inventarios. Cabe señalar que el personal coincide en que se tiene una mayor problemática en los niveles de inventario debido a escasez y exceso eventual de un conjunto específico de productos, los cuales tienen una característica en común, la mayoría forman parte de dos líneas específicas, a nombrar, 1 y 2.

Lo anterior genera la necesidad de diseñar e implementar una nueva política de inventario adecuada. Se pretende que este trabajo dé solución a esta necesidad con un enfoque en disminución de costos para los productos más importantes que cumplan requerimientos especificados en el apartado clasificación ABC.

### **3.2 Clasificación ABC**

El primer paso para el proceso de diseño de políticas de inventarios para este trabajo, es identificar los artículos a los cuales estas se aplicarán. Frecuentemente, las organizaciones o empresas que administran inventarios con diferentes artículos identifican que algunos de ellos tienen una mayor importancia para la propia organización o empresa. Esto suele suceder debido a variadas razones. Algunas empresas, por ejemplo, pueden verse interesadas en mejorar el manejo de artículos en el inventario dependiendo de la ganancia que cada uno de ellos genera, o en aquellos que generan la mayor cantidad de movimiento en el espacio donde son almacenados. Dependiendo del criterio a emplear, suelen categorizarse los artículos según su importancia en la escala de dicho criterio.

La clasificación ABC se utiliza para identificar los productos más importantes para las empresas y así, tomar decisiones para establecer prioridades de atención en cuanto a su manejo y administración a lo largo de diferentes procesos. En esta clasificación usualmente se generan tres clases o categorías de productos: A, B y C. Los productos de la clase A son aquellos que deben recibir una atención más detallada por la administración, los productos de la clase B son de importancia secundaria con relación a la clase A y los

productos de clase C son los productos restantes que generalmente se identifican como de menor importancia o que generan un menor impacto (Silver et al., 2016).

Para este caso de estudio, es bien sabido que se mueven y almacenan más de 6 mil SKUs (número de referencia único, por sus siglas en inglés Stock Keeping Unit) o IDs dentro del centro de distribución, los cuales, a su vez, se subdividen en 24 líneas. Estas líneas agrupan conjuntos de productos según las características o propósito que cumplen.

Por la gran cantidad de IDs de productos que internamente se administran y envían a cada una de las tiendas minoristas en las que se comercializan directamente los productos al cliente final, ha resultado complicado establecer una prioridad de atención a los productos que generan mayor movimiento. Cabe aclarar que, aunque el personal a cargo de las operaciones dentro de este centro de distribución identifica por experiencia e intuición algunos de ellos, hasta el momento de elaboración de este trabajo no se había tomado la tarea de medir y clasificar los más importantes con números precisos. Por lo anterior, se fijó la primera tarea: identificar los productos de mayor importancia según las necesidades de la empresa.

Para la realización de esta tarea, fue necesario conocer a detalle cuales serían los criterios con los que los tomadores de decisiones de esta empresa buscarían categorizar en una clasificación ABC. Los criterios elegidos fueron tres: productos con mayor cantidad de cajas solicitadas por las tiendas minoristas, productos con mayor cantidad de cajas

enviadas a las tiendas minoristas y productos que mayor monto monetario representaban. Además, fue requerida la priorización de dos líneas específicas en donde se tiene un mayor conflicto en niveles de inventario, las cuales serán referidas como líneas 1 y 2.

Una vez que los tres criterios de categorización de productos fueron definidos, se inició la recopilación de datos históricos de la empresa donde se diera referencia a dichos criterios. Con la ayuda del personal a cargo del departamento competente, se obtuvieron registros de los años 2019, 2020 y una fracción de 2021 que esencialmente consisten en informes semanales de productos solicitados por cada una de las tiendas minoristas al centro de distribución. Estos informes, además de registrar las cajas solicitadas de cada uno de los productos, también detallan cuántas de ellas fueron surtidas exitosamente, el monto que representaban al momento de la transferencia, la fecha en que se enviaron, cuál fue su tienda destino, la línea a la que pertenecen, folios internos de pedido, el proveedor de origen, entre otros. En total fueron obtenidos más de seis millones de registros de transferencias en los más de 120 documentos electrónicos.

Actualmente la empresa caso de estudio cuenta con un sistema interno de control de transferencias en el centro de distribución un tanto obsoleto. Este sistema es la fuente de datos para este trabajo. Desafortunadamente, por las características propias de este, la mayor parte de los registros presentaban ligeros errores que necesariamente tuvieron que ser depurados. Este proceso tuvo que ser minucioso y detallado para evitar posibles errores en los cálculos que se presentan en este documento. Todo el proceso que a continuación

se describe de selección, limpieza, filtrado y depuración de datos se realizó mediante el software Excel.

Como paso inicial para tratar la información, se cubrió el requerimiento de la gerencia de considerar el análisis únicamente de los productos de las líneas 1 y 2 para el diseño de políticas de inventarios de los más importantes, por lo que, eliminando los registros de las líneas restantes, suman más de un millón de registros (1,062,640) de los 1,486 productos en total de ambas líneas. Posteriormente se analizaron las cifras totales desde la primera semana de enero de 2019 hasta la primera semana de marzo de 2021 en cajas solicitadas y cajas surtidas al centro de distribución y su monto total. Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 ilustran esta información.

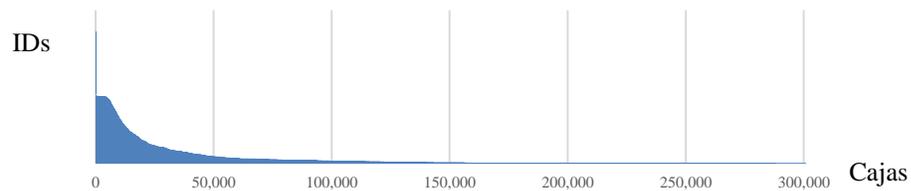


Figura 3.1. Cantidad de cajas surtidas por ID de producto desde el centro de distribución.

Elaboración propia.

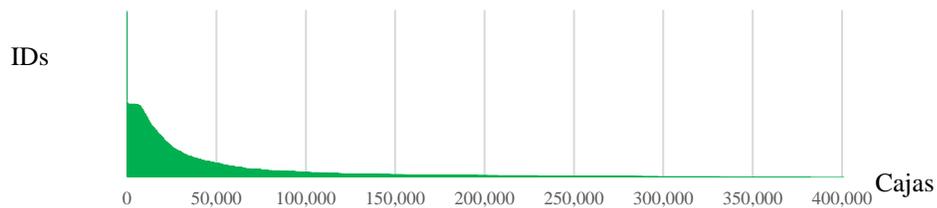


Figura 3.2. Cantidad de cajas solicitadas por ID de producto al centro de distribución.

Elaboración propia.

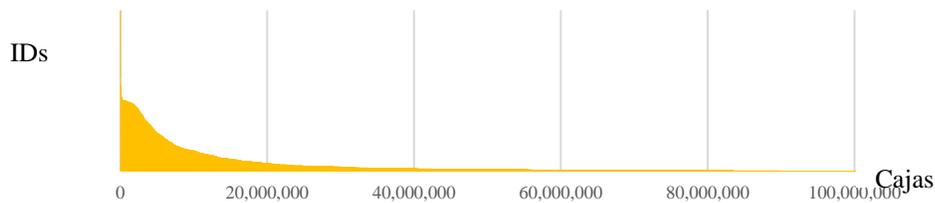


Figura 3.3. Monto total de las cajas enviadas por ID de producto desde el centro de distribución a los minoristas. Elaboración propia.

Los autores Silver et al. (2016) afirman que es típico encontrar en diferentes sistemas de inventarios multi-producto que alrededor del 20% del total de SKUs hacen alrededor del 80% del uso anual en dólares. Esta afirmación o relación podría aplicarse en este caso de estudio, ya que con ayuda de las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 es posible notar que pequeñas cantidades de productos por figura representan la mayor parte del movimiento de cajas surtidas, solicitadas y que representan mayor monto monetario. Para tener un rango definido de productos con mayor impacto para la empresa, es decir, la clase A, para los que estarán diseñadas las políticas de inventario, se aplica la relación explicada anteriormente.

De la lista de los 1,486 productos de las líneas 1 y 2 se realizó una clasificación individual de mayor a menor por cajas surtidas con el porcentaje del total que representa para, con ayuda del acumulado, determinar cuántos y cuáles productos representan aproximadamente 80% de las cajas surtidas a las tiendas minoristas de la empresa. Se obtuvo que 14,389,178 cajas de 287 productos representaron el 80.05% del total surtido, que fueron 17,975,883 cajas. El mismo proceso se realizó para la cantidad de cajas

solicitadas por los minoristas y para el monto total de las cajas enviadas, el resultado para el primero consistió en que 296 productos, de los cuales 20,267,642 cajas fueron solicitadas, representan el 79.98% del total de 25,341,163 cajas. En cuanto a la clasificación de monto, se supo que un total de 287 productos con un monto de \$5,414,223,750.40 representaron el 79.91% del total de \$6,775,235,584.41 de las líneas 1 y 2.

Con el proceso de selección descrito, se conocieron con certeza y fundamentos cuáles son los productos más importantes por criterio. Sin embargo, para tener un listado más específico que contuviera los productos que estuvieran en los tres rankings principales, es decir, aquellos de los cuales se hayan solicitado más cantidad de cajas, de los que más se surtieron y, al mismo tiempo, representaron los mayores montos monetarios, se generó un nuevo listado. El resultado consistió en que únicamente 385 productos (25.91% del total de los productos de las líneas 1 y 2) están incluidos en las tres clasificaciones. El conjunto de productos obtenidos es ahora considerado por la empresa como clase A y en este trabajo como aquellos que son el objetivo de diseño de nuevas políticas de inventario. El anexo 1 presenta las cifras por criterio de cada uno de estos productos.

### **3.3 Determinación de la demanda**

Un dato de entrada elemental para cualquier política de inventarios que se desea diseñar, es la demanda del producto tratado. Para este trabajo inicialmente se tenían varios miles de productos de diferentes familias, las cuales, en el caso de estudio se denominan líneas. Sin embargo, después de la elaboración del análisis ABC, se identificó que únicamente la cantidad de 385 IDs son de mayor importancia para las dos líneas más relevantes para los tomadores de decisiones de la empresa y, por consiguiente, el objetivo de aplicación de las políticas a analizar. Dado lo anterior, el siguiente paso fue analizar a detalle el comportamiento de la demanda de cada uno de estos artículos.

Inicialmente se extrajo la información concerniente a la cantidad de cajas solicitadas por día por producto de la base de datos, en búsqueda de patrones o comportamientos históricos inusuales.

El resultado de esta actividad fue notar que, a pesar de entrar a la categoría A del análisis ABC, los cuales, debido a las prioridades de la empresa, se denotan como artículos de rápido movimiento, varios de ellos no tienen continuidad en la demanda a través del tiempo. Esto es, una cantidad total de 118 IDs son productos que no estuvieron disponibles durante todo el periodo de tiempo analizado y se comercializaron por temporadas específicas del año o con intermitencia. Esta fue razón para no incluirlos en la siguiente etapa del trabajo. Además, se tomó la decisión de agrupar las cantidades de cajas solicitadas de manera semanal con la finalidad de agilizar y facilitar cálculos posteriores.

En primera instancia se decidió dar prioridad al uso de la transformación de Box-Cox debido a que, con ella, se logró obtener mejores resultados en el indicador MAPE (error porcentual absoluto medio) en la aplicación de métodos de series de tiempo, es decir, se obtuvieron valores bajos de este indicador, iguales o menores a 10. Resulta importante subrayar que en la primera corrida de los diferentes métodos de series de tiempo que ofrece Minitab versión 18, con los datos sin transformar, se lograron valores hasta 10 veces mayores de indicador que con el uso de los datos ya transformados.

Una vez comprobado que los datos se comportaran de manera estable y con buenos indicadores de ajuste, tanto a las transformaciones y a los métodos de series de tiempo, se procedió a calcular uno de los principales datos de entrada para las políticas de inventario: la demanda. Esto se realizó con un horizonte de pronóstico de 52 semanas, correspondiente al periodo de la semana 113 a la semana 165 de las series de tiempo. Los resultados de los pronósticos junto a sus medidas de exactitud están disponibles en el anexo 2. A continuación, estos datos que aún se encontraban en el campo transformado, se transformaron de nuevo al modelo original de cajas solicitadas según los parámetros que inicialmente se emplearon.

### **3.4 Aplicación de políticas de inventario**

El objetivo de este apartado es analizar las condiciones y limitantes principales del caso de estudio, así como evaluar políticas de inventario que, después de la revisión de literatura realizada y descrita en el capítulo 2, se consideran aptas para satisfacer las limitantes mencionadas.

Una de las principales características de la empresa es que la demanda de todos los productos analizados y seleccionados en el análisis ABC del apartado anterior, es variable con el tiempo. Esto fue lo que llevó al empleo de métodos de series de tiempo, con la finalidad de realizar cálculos de pronósticos de demanda posterior a la información obtenida del último día registrado. Durante el proceso, se notó que la mayor parte de los productos presentan un comportamiento en los niveles relativamente estable en los dos años analizados.

Ahora bien, algo importante por mencionar es que, idealmente en las empresas, el personal del departamento de compras debe tener constante comunicación con el correspondiente al de almacenes centrales, centros de distribución y otras instalaciones, donde se mantenga stock para lograr una buena coordinación y correcto flujo de información y mercancía. Gracias a esto y con ciertas limitaciones, se tuvo acceso a información más detallada acerca del origen de cada uno de los IDs manejados. Por mencionar, fue posible saber quién es el proveedor y específicamente desde cuál de sus

instalaciones envían cada uno de sus productos. Esta información fue un parteaguas para la selección de posibles políticas aplicables a los productos seleccionados.

Por último, dentro del caso de estudio, se tiene una limitante que restringe en gran medida la elección del tipo de política de inventarios a seleccionar. Como se ha mencionado anteriormente, existen dos grandes variantes principales de políticas de inventarios: de revisión periódica y de revisión continua. Para este último caso, es imperativo contar con una robusta infraestructura, en términos de tecnologías de información y software de control, que haga posible la disponibilidad inmediata y confiable de información acerca de la cantidad de inventario disponible en cualquier momento del día. Desafortunadamente, esta característica no está cubierta por la infraestructura actual de la empresa, por lo que la mejor alternativa es optar por una política de revisión periódica. Ahora bien, dadas las limitantes principales a las que el caso de estudio está sujeto, se compararán los resultados en términos de costos arrojados por dos políticas distintas.

#### **3.4.1 Política de revisión periódica para envíos consolidados con demanda desconocida y sin descuentos por cantidades**

Esta política considera la condición que en términos administrativos y operativos es muy común: el departamento de compras de la empresa coloca pedidos de varios productos en diferentes cantidades en los casos en que dichos productos sean suministrados por un mismo proveedor. No obstante, no todos los pedidos incluyen

requisición de estos IDs. En otras palabras, un mismo artículo puede no incluirse en todas las requisiciones al proveedor.

Lo descrito es la razón de que el problema sea más complejo de resolver, sin embargo, refleja condiciones más realistas. Los dos inconvenientes principales que surgen son que, bajo este escenario, es más difícil determinar el nivel de inventario de un artículo en específico y que las implicaciones de servicio de cualquier punto de pedido en particular son mucho más difíciles de evaluar, que en el caso de un control individual de inventarios (Silver et al., 2016).

Para este caso de estudio se sigue el procedimiento sugerido por Silver et al. (2016). El objetivo principal de este modelo es distribuir un costo general de colocación de pedido (sin importar el volumen de requisición de los diferentes productos que se incluyan) en pequeños montos a aquellos artículos que sean solicitados más frecuentemente al proveedor, siempre equilibrando el tiempo de espera hasta el siguiente suministro de estos artículos.

Para la aplicación del modelo de inventarios al caso de estudio, se consideraron condiciones especiales para mejorar el manejo de envíos por parte del proveedor. Como se explicó anteriormente, la clasificación ABC segmentó un conjunto inicial de productos en tres diferentes categorías. En la categoría A, en la cual se concentra este trabajo, se

realiza una segunda segmentación, en la que se agrupa a los productos por el proveedor que los abastece.

El resultado es un conjunto de sesenta y dos proveedores que abastecen los 211 productos con cálculos de pronósticos en la clase A. Asimismo, se sabe que algunos proveedores envían sus productos al centro de distribución desde orígenes distintos. Para estos casos se maneja una política separada. Dado que el origen de grupos no es el mismo, un envío consolidado complicaría la coordinación entre las distintas instalaciones de origen para el envío simultáneo, por lo que se aplica la metodología por separado para cada una de las instalaciones, facilitando el proceso tanto para el proveedor, como para el centro de distribución. La notación para este procedimiento así como las ecuaciones mostradas a continuación pueden encontrarse en Silver et al. (2016):

$A$ : Costo fijo de colocación de pedido.

$a_i$ : Costo menor de colocación de pedido del artículo  $i$ .

$D_i$ : Demanda anual del artículo  $i$ .

$r$ : Costo por mantener inventario.

$v_i$ : Costo unitario del producto  $i$ .

$T_i$ : Tiempo de entrega o tiempo esperado de agotamiento del artículo  $i$ .

$\alpha_i$ : Fracción del costo fijo  $A$  asignado al producto  $i$ .

$EOQ_i$ : Cantidad óptima de pedido del artículo  $i$ .

$\sigma_i$ : Desviación estándar de la demanda del artículo  $i$ .

$R$ : Intervalo de revisión de niveles de inventario.

$L$ : Tiempo de entrega del producto.

$S$ : Nivel máximo de inventario.

$SS$ : Inventario de seguridad.

$k$ : Factor de seguridad.

$\sigma_L$ : Desviación estándar de la demanda del artículo durante el tiempo de entrega.

$\sigma_{R+L}$ : Desviación estándar de la demanda del artículo durante el periodo de revisión más tiempo de entrega.

$\hat{x}_{R+L}$ : Demanda esperada en el periodo de revisión más tiempo de entrega.

El procedimiento por seguir se describe a continuación.

1. Cálculo de la cantidad óptima de pedido ( $EOQ$ ) y el tiempo de entrega equivalente para cada producto  $i$  usando únicamente el menor costo de colocación de pedido  $a_i$  usando las ecuaciones 3.1 y 3.2:

$$EOQ_i = \sqrt{\frac{2a_i D_i}{rv_i}} \quad (3.1)$$

$$T_i = \frac{EOQ_i * (\text{semanas por año})}{D_i} \quad (3.2)$$

2. Elegir el artículo con el tiempo de entrega más pequeño y denotarlo como producto 1, debido a que es el producto más solicitado de la familia. Posteriormente asignarle una pequeña porción  $\alpha_i$  del costo  $A$  e incrementarlo gradualmente hasta que

coincida con el tiempo de entrega con el del siguiente producto más solicitado, llamado producto 2.

3. Repetir el paso 2 ahora con  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  de tal manera que su tiempo de entrega gradualmente crezca hasta que iguale al del producto 3. Este proceso continúa hasta que el costo A completo sea asignado en mayor proporción a los productos cuyo tiempo de entrega, calculado en el paso 1, sea más alto. Este costo fijo de pedir, A, se asigna siempre que se cumpla la condición  $\sum_i \alpha_i = 1$ . En ciertas ocasiones, esto se llegará a cumplir antes de que el costo A se asigne a todos los productos. Esto es, para aquellos productos a los que no se asigne una fracción, se hará  $\alpha_i = 0$ .

4. Redondear todos los productos que no se compran en cada ciclo a un múltiplo de período base. Este periodo base, R, es el tiempo de entrega para todos los productos con  $\alpha_i > 0$ . Se aconseja utilizar potencias de dos múltiplos del período base, de manera que el ciclo de cada producto es el período base  $2^1, 2^2, 2^3 \dots$  veces el período base.

5. Determinar los costos totales con la ecuación 3.3,  $\sigma_{R+L}$  con 3.4, inventario de seguridad SS con 3.5 y el nivel máximo de inventario S con 3.6. Se considera una probabilidad de no faltantes durante el ciclo de reabastecimiento de 95%, por lo que  $k = 1.65$ .

$$TC = \frac{A}{R} + \left( \frac{DR}{2} + k\sigma_{R+L} \right) vr \quad (3.3)$$

$$\sigma_{R+L} = \sqrt{\frac{R+L}{2}} * \sigma_L \sqrt{R} \quad (3.4)$$

$$SS = k\sigma_{R+L} \quad (3.5)$$

$$S = \hat{x}_{R+L} + SS \quad (3.6)$$

### **Aplicación de la política al proveedor A01**

A continuación, se muestra la aplicación del modelo de inventarios de envíos consolidados al proveedor A01. Este proveedor cuenta con la mayor cantidad de productos dentro de la clase A del análisis ABC. El total de 18 productos comparte el mismo origen: un centro de distribución ubicado en la ciudad de Toluca, Estado de México.

Los datos de la demanda anual registrados en la tabla de cálculo pertenecen a los pronósticos realizados para cada uno de los productos de este proveedor, 52 semanas consecutivas al 5 de marzo de 2020. En la tabla 3.1 se detallan los cálculos para el modelo de envíos consolidados para los datos de los ID de los productos de este proveedor.

$$A = \$17,500.00$$

$$a = \$1,750.00$$

$$r_i = 6.45\% \text{ anual}$$

$$T_i = 9 \text{ días} = 1.29 \text{ semanas}$$

Con los datos de la tabla 3.1, tenemos un costo anual total para un año pronosticado de los 18 productos del proveedor A01 de \$756,233.81. Este costo es obtenido haciendo una revisión a los niveles de inventario para los primeros 11 IDs cada 7 semanas; para los

siguientes 3, cada 9 semanas; para el ID282 cada 13 semanas y para el 287 cada 15 semanas. La cantidad por solicitar será la diferencia entre el nivel de inventario que se tenga al momento de la revisión y el nivel máximo de inventario mostrado en la penúltima columna de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor A01.

ID	Demanda anualizada Di	Costo unitario vi	Desv est. Semanal de la demanda (cajas)	EOQ (Cajas)	Tiempo entre entregas (semanas)	$\alpha_i$	Costo por colocación de pedido	EOQ nuevo	Tiempo entre entregas (semanas)	R	$\sigma_L$	$\sigma_{R+L}$	Stock de seguridad SS	Nivel máximo de inventario S	TC
122	45,887	\$313.90	388.88	\$2,816.00	3.19	0.4914	\$10,348.96	6,849.09	7.76	7	440.94	1119.38	1,847.0	8,024.07	\$176,805.30
145	15,094	\$416.00	80.55	\$1,403.00	4.83	0.1578	\$4,511.42	2,252.93	7.76	7	91.33	231.86	382.6	2,414.45	\$71,038.28
239	24,482	\$187.96	143.39	\$2,659.00	5.64	0.0889	\$3,306.19	3,654.18	7.76	7	162.58	412.73	681.0	3,976.67	\$52,793.77
160	23,356	\$187.96	195.03	\$2,597.00	5.78	0.0802	\$3,154.13	3,486.11	7.76	7	221.15	561.40	926.3	4,070.38	\$53,719.17
372	6,130	\$588.60	60.76	\$752.00	6.37	0.0481	\$2,592.37	914.96	7.76	7	68.90	174.90	288.6	1,113.78	\$45,877.85
204	22,129	\$154.00	157.98	\$2,792.00	6.56	0.0399	\$2,448.49	3,302.97	7.76	7	179.13	454.74	750.3	3,729.22	\$40,436.39
227	13,361	\$249.71	60.72	\$1,704.00	6.63	0.0370	\$2,397.12	1,994.26	7.76	7	68.85	174.79	288.4	2,087.00	\$36,936.73
373	7,442	\$392.11	58.68	\$1,015.00	7.09	0.0198	\$2,096.59	1,110.79	7.76	7	66.54	168.91	278.7	1,280.51	\$35,291.83
170	24,941	\$114.70	241.56	\$3,435.00	7.16	0.0175	\$2,055.38	3,722.69	7.76	7	273.90	695.32	1,147.3	4,504.72	\$36,175.74
250	14,580	\$187.94	92.29	\$2,052.00	7.31	0.0125	\$1,968.76	2,176.21	7.76	7	104.65	265.65	438.3	2,401.02	\$31,834.49
308	13,631	\$191.00	81.31	\$1,968.00	7.50	0.0069	\$1,870.58	2,034.56	7.76	7	92.20	234.06	386.2	2,221.14	\$29,956.28
203	15,284	\$141.70	93.57	\$2,419.00	8.23	0.0000	\$1,750.00	2,419.29	8.23	9	106.09	300.08	495.1	3,140.44	\$26,725.02
374	7,838	\$262.06	47.82	\$1,274.00	8.45	0.0000	\$1,750.00	1,273.96	8.45	9	54.22	153.37	253.1	1,609.63	\$25,853.47
318	7,718	\$191.00	39.48	\$1,481.00	9.97	0.0000	\$1,750.00	1,480.78	9.97	9	44.77	126.63	208.9	1,544.74	\$20,913.30
380	5,245	\$269.97	35.64	\$1,027.00	10.18	0.0000	\$1,750.00	1,026.76	10.17	11	40.42	124.94	206.1	1,315.66	\$21,522.38
186	26,671	\$39.50	219.59	\$6,053.00	11.80	0.0000	\$1,750.00	6,053.06	11.80	11	248.99	769.69	1,270.0	6,911.92	\$18,695.45
282	4,926	\$187.94	40.36	\$1,193.00	12.59	0.0000	\$1,750.00	1,192.59	12.58	13	45.77	152.55	251.7	1,483.21	\$17,515.47
287	3,885	\$179.33	20.71	\$1,084.00	14.50	0.0000	\$1,750.00	1,084.23	14.51	15	23.48	83.57	137.9	1,258.56	\$14,142.89
						1.0000									\$756,233.81

Fuente: elaboración propia.

### Aplicación de la política al proveedor D04:

A continuación, se presenta la aplicación de la metodología a un grupo de productos que se encuentran en la categoría A de la clasificación ABC y que son

abastecidos al centro de distribución de la empresa caso de estudio por un mismo proveedor desde dos instalaciones distintas. Ocho de ellos, identificados en la clasificación como ID 5, 18, 101, 115, 212, 219, 269 y 311 tienen como origen un centro de distribución ubicado al norte del Estado de México, mientras que los denominados ID 71, 90 y 232 son enviados desde otro centro de distribución del proveedor ubicado en el área del Bajío. Los datos de demanda anual corresponden también a los pronósticos calculados de las semanas 113 a 165.

Para el primer grupo proveniente del centro de distribución en el Estado de México, llamado origen A, se tiene el desarrollo en la tabla 3.2:

$$A = \$14,000.00$$

$$a = \$1,400.00$$

$$r_i = 6.45\% \text{ anual}$$

$$T_i = 15 \text{ días} = 2.14 \text{ semanas}$$

Tabla 3.2 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor D04 origen A.

ID	Demanda anualizada Di	Costo unitario vi	Desv est. semanal de la demanda	EOQ (Cajas)	Tiempo entre entregas (semana)	$\alpha_i$	Costo por colocación de pedido	Nuevo EOQ (cajas)	Tiempo entre entregas (semanas)	R	$\sigma_L$	$\sigma_{R+L}$	Stock de seguridad SS	Nivel máximo de inventario S	TC
5	310,920	\$235.40	1,105.3	7572	1.26	0.8240	\$12,935.87	23,017.28	3.84	4	1618.02	2739.51	4,520.2	28,437.11	\$418,366.57
18	72,590	\$216.82	301.1	3812	2.73	0.0987	\$2,781.74	5,373.81	3.84	4	440.86	746.43	1,231.6	6,815.46	\$92,431.35
115	27,512	\$405.25	126.1	1717	3.24	0.0408	\$1,970.54	2,036.70	3.84	4	184.62	312.59	515.8	2,632.08	\$66,757.31
101	22,896	\$429.10	92.1	1522	3.45	0.0240	\$1,736.44	1,694.98	3.84	4	134.84	228.29	376.7	2,137.92	\$57,371.91
269	10,612	\$531.50	49.0	931	4.56	0.0000	\$1,400.00	930.99	4.56	4	71.73	121.44	200.4	1,016.69	\$39,061.70
219	34,551	\$183.70	190.5	2857	4.29	0.0125	\$1,575.42	3,031.16	4.56	4	278.91	472.22	779.2	3,436.93	\$45,458.04
212	21,284	\$227.88	142.3	2014	4.92	0.0000	\$1,400.00	2,013.60	4.91	4	208.35	352.76	582.1	2,219.29	\$38,787.43
311	14,560	\$221.36	18.6	1690	6.03	0.0000	\$1,400.00	1,689.78	6.03	6	27.24	53.11	87.6	1,767.63	\$25,377.80
						1.0000									\$783,612.12

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la tabla, tenemos que, para el primer grupo de este proveedor, el costo total es de \$783,612.12 al año. Los intervalos de revisión, al igual que para el proveedor anterior, son mostrados en la columna de R. De la misma manera se calculará el volumen de pedido por producto.

Para el conjunto de productos provenientes del origen B se muestran los cálculos en la tabla 3.3.

$$A = \$16,000.00$$

$$a = \$1,600.00$$

$$r_i = 6.45\% \text{ anual}$$

$$T_i = 8 \text{ días} = 1.14 \text{ semanas}$$

Tabla 3.3 Aplicación del modelo de envíos consolidados al proveedor D04 origen B.

ID	Demanda anualizada Di	Costo unitario vi (\$/caja)	Desv est. de la demanda	EOQ (Caja)	Tiempo entre entregas (semanas)	$\alpha_i$	Costo por colocación de pedido	Nuevo EOQ (cajas)	Tiempo entre entregas (semanas)	R	$\sigma_L$	$\sigma_{R+L}$	Stock de seguridad SS	Nivel máximo de inventario S	TC
71	36,772	\$458.6	160.2	1995	2.8	0.42	\$8,314.6	4,547	6.43	6	171	428	707	4,949	\$155,702
232	13,380	\$664.0	71.0	1000	3.9	0.17	\$4,380.7	1,654	6.43	6	76	190	313	1,857	\$84,441
90	28,420	\$578.4	115.9	1561	2.9	0.41	\$8,104.8	3,514	6.43	6	124	310	511	3,790	\$150,470
														1.00	\$390,613

Fuente: elaboración propia.

### **3.4.2 Desempeño de la política actual**

Para tener una referencia de desempeño y un punto de comparación de la política propuesta en este documento, es necesario conocer también el desempeño de la política actual de la empresa. Para este propósito se recurrió a la gerencia para tener un dato exacto sobre costos actuales de política de inventario por proveedor. Desafortunadamente, este es un dato que no se conoce con exactitud.

Como alternativa a este problema, se propone el cálculo de tablas de estimación de las condiciones reales, donde se utilizan datos conocidos y proporcionados por el personal de la empresa. Como datos de entrada, estas tablas emplean la cantidad de cajas de producto recibido en el centro de distribución por día y proveedor de todo el año 2020, así como la información relativa a la cantidad demandada de producto por minorista. La elaboración de estas tablas se limita al 2020, debido al acceso limitado a la información que el personal de la empresa proporcionó por términos de confidencialidad.

Las tablas de estimación alimentadas con los datos descritos son de gran ayuda por la información aproximada de los niveles de inventario de cada uno de los productos a lo largo del periodo anual 2020. Con ello, también fue posible realizar un cálculo aproximado de costos de mantener inventario, costos totales de colocación de pedidos, así como del indicador fill rate, y cantidades de cajas faltantes a lo largo del año.

Para el caso específico de costos por mantener inventario y de colocación de pedidos, se utiliza la misma tasa anual  $r$  y el mismo costo de colocación de pedidos que el modelo de envíos consolidados sugiere. Es importante resaltar que, en realidad, el uso de estos costos en las tablas de estimación son parte de un escenario optimista, donde se supone que todos o gran parte de los productos son solicitados de manera consolidada al proveedor como parte de una revisión periódica de los niveles de inventario de cada uno de ellos. Este escenario no es del todo cierto, debido a que el departamento de compras suele hacer pedidos individuales por producto y ocasionalmente lo hace de manera consolidada con pocos IDs distintos. Por lo anterior, el costo general arrojado por los cálculos puede ser inferior al real. Finalmente, a través de reportes internos del último día del año 2019, fue posible definir el nivel de inventario inicial para el 1 de enero de 2020.

Ahora bien, al inicio de este capítulo se habla de la cantidad de productos que cada uno de los proveedores maneja dentro de la clase A. El cálculo de las tablas de estimación se realiza para el mismo conjunto de proveedores con mayor cantidad de productos dentro de la clasificación y que, acumulativamente, agrupa el 80% de la cantidad de productos del total. En la tabla 3.4 se muestra el concentrado de esta selección. En total se calcularon 169 tablas de estimación individuales por producto para un total de 29 proveedores.

Es importante mencionar que, debido a la gran cantidad de registros individuales de salidas y entradas de producto, que se descomponen en más de 1 millón para salidas, más de 9 mil para entradas, la elaboración individual de las tablas de estimación de

situación real sería tomaría demasiado tiempo y esfuerzo computacional. Para agilizar este proceso, se hizo uso de herramientas avanzadas de Excel: Power Pivot, Power Query y Visual Basic for Applications. Las primeras dos se emplearon para elaborar un modelo de datos que, con el diseño de medidas dentro del mismo software, se calcularon tablas dinámicas filtradas según el producto deseado. De esta manera, se resume la información de entradas y salidas del producto por fecha, así como su costo. Visual Basic for Applications se utilizó para el desarrollo y ejecución de un código de programación para automatizar la generación de las tablas de estimación para los productos seleccionados, así como su respectiva gráfica de niveles de inventarios estimados para 52 semanas (1 año). Con la información disponible a partir de lo anterior, también fue posible estimar el fill rate semanal promedio, cantidad de faltantes y costos.

Tabla 3.4 Cantidad de productos por proveedor dentro de la clase A.

Código de proveedor	Cantidad de productos dentro de la clase A	Porcentaje acumulado
A01	18	8.5
B02	16	16.1
C03	11	21.3
D04	11	26.5
E05	10	31.3
F06	10	36.0
G07	9	40.3
H08	7	43.6
I09	6	46.4
J10	6	49.3
K11	5	51.7
L12	5	54.0
M13	4	55.9
N14	4	57.8
O15	4	59.7
P16	4	61.6
Q17	4	63.5
R18	4	65.4
S19	4	67.3

Código de proveedor	Cantidad de productos dentro de la clase A	Porcentaje acumulado
T20	4	69.2
U21	3	70.6
V22	3	72.0
W23	3	73.5
X24	3	74.9
Y25	3	76.3
Z26	2	77.3
A27	2	78.2
B28	2	79.1
C29	2	80.1
D30	2	81.0
E31	2	82.0
...	...	...
H60	1	99
I61	1	100
	211	

Fuente: elaboración propia.

A manera de ejemplo, en la tabla 3.5 se muestra la tabla de estimación calculada y su correspondiente gráfica de niveles de inventario a través de las 52 semanas del año para el producto ID373 del proveedor A01, quien cuenta con la mayor cantidad de IDs dentro de la clase A. En la figura 3.4 se muestran cantidad de faltantes y niveles de inventario iniciales y finales semanales correspondientes a este producto. Asimismo, en la tabla 3.5 se presentan los resultados en costos y fill rate promedio para este producto.

Tabla 3.5. Tabla de estimación de condiciones reales para el ID373 del proveedor A01 para el periodo 2020.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Demanda	128	414	389	58	31	56	133	491	86	214	307	291	245	117	333	434	44	38
Inventario inicial	2,123	1,995	1,581	1,192	1,134	1,103	1,047	914	423	337	723	416	125	0	0	0	166	122
Cantidad surtida	128	414	389	58	31	56	133	491	86	214	307	291	125	0	0	434	44	38
Inventario final	1,995	1,581	1,192	1,134	1,103	1,047	914	423	337	723	416	125	0	0	0	166	122	584
Inventario promedio	2,059	1,788	1,387	1,163	1,119	1,075	981	669	380	830	570	271	63	0	0	383	144	603
Recibido de proveedor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0	0	0	600	0	500
Desabasto final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	117	333	0	0	0
Costo de pedir (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,641	0	0	0	0	0	2,641	0	2,641
Costo mantener inv. (\$)	1,001	870	674	566	544	523	477	326	185	404	277	132	30	0	0	186	70	293
Fill rate (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	51	0	0	100	100	100

Semana	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Demanda	197	120	190	75	150	97	11	109	160	128	36	122	66	53	88	150	17
Inventario inicial	584	387	567	377	302	152	555	544	435	275	147	611	489	623	570	782	632
Cantidad surtida	197	120	190	75	150	97	11	109	160	128	36	122	66	53	88	150	17
Inventario final	387	567	377	302	152	555	544	435	275	147	611	489	623	570	782	632	615
Inventario promedio	486	627	472	340	227	604	550	490	355	211	629	550	656	597	826	707	624
Recibido de proveedor	0	300	0	0	0	500	0	0	0	0	500	0	200	0	300	0	0
Desabasto final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo de pedir (\$)	0	2,641	0	0	0	2,641	0	0	0	0	2,641	0	2,641	\$0.00	2,641	0	0
Costo mantener inv. (\$)	236	305	230	165	110	294	267	238	173	103	306	268	319	290	402	344	303
Fill rate (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Semana	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda	54	109	118	171	61	91	142	135	93	244	164	174	150	54	27	148	390
Inventario inicial	615	561	452	934	763	912	821	679	844	751	507	343	169	819	765	738	1,090
Cantidad surtida	54	109	118	171	61	91	142	135	93	244	164	174	150	54	27	148	390
Inventario final	561	452	934	763	912	821	679	844	751	507	343	169	819	765	738	1,090	1,459
Inventario promedio	588	507	993	849	943	867	750	912	798	629	425	256	894	792	752	1,164	1,654
Recibido de proveedor	0	0	600	0	210	0	0	300	0	0	0	0	800	0	0	500	759
Desabasto final	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo de pedir (\$)	0	0	2,641	0	2,641	0	0	2,641	0	0	0	0	2,641	0	0	2,641	2,641
Costo mantener inv. (\$)	286	246	483	413	458	421	365	443	388	306	207	125	435	385	366	566	804
Fill rate (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Se muestra a detalle el comportamiento simulado de los niveles de inventario iniciales y finales, cantidad de faltantes y fill rate por semana por cada uno de los 52 periodos del año 2020 a partir de la demanda semanal, cantidad recibida del proveedor e inventario final del periodo anterior. Fuente: elaboración propia.

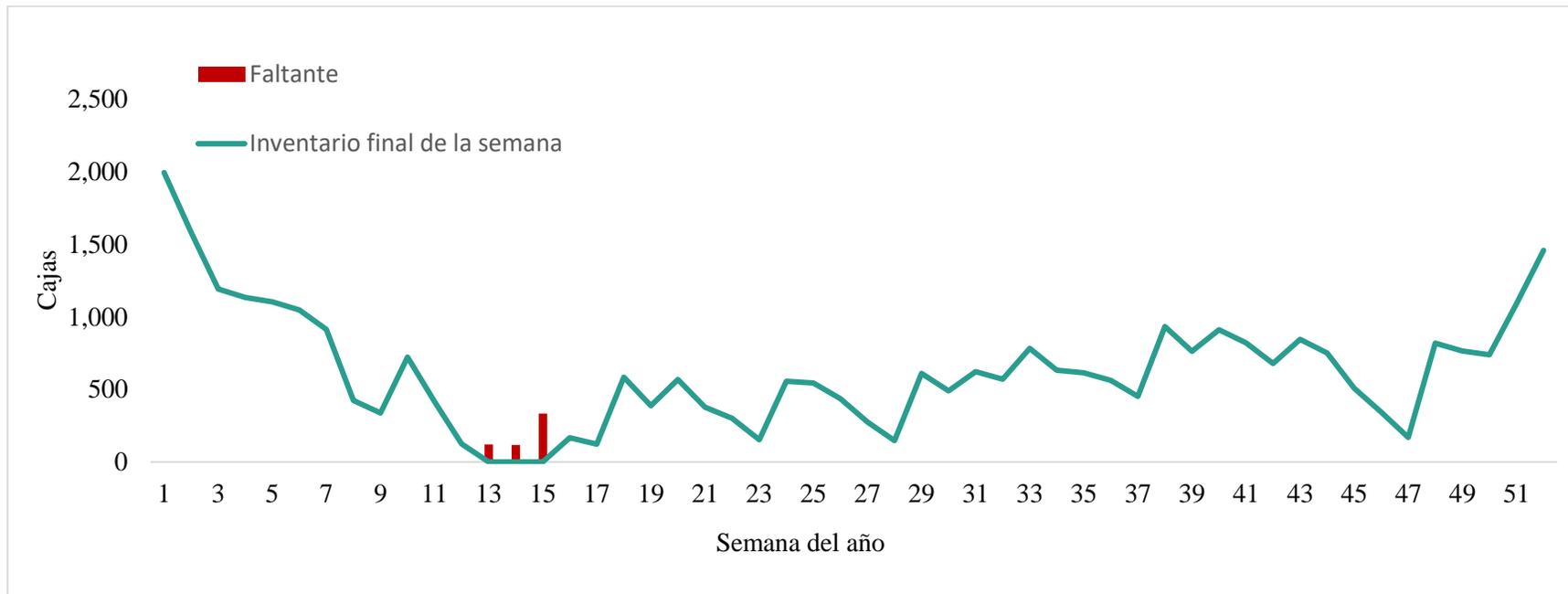


Figura 3.4. Cantidad de faltantes y niveles de inventario al inicio y final de cada semana del producto ID373 del proveedor A01 durante 2020.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.6 Datos de entrada y salida de estimación de condiciones reales para el producto ID373 del proveedor A01 durante 2020.

Entrada	Inventario inicial	2,123
	Costo de pedir	\$2,641
	Costo de mantener anual	6.5%
Salida	Inventario promedio (cajas)	696
	Unidades faltantes (cajas)	570 cajas
	Fill rate semanal promedio	95%
	Fill rate anual	93%
	Costo anual total	\$54,575

Fuente: elaboración propia.

A través de una comparación entre los resultados arrojados por el modelo de política de inventarios de envíos consolidados y los mostrados en la tabla 3.6 para el mismo producto, es posible notar que existiría una diferencia anual solo para el producto ID373 de \$16,440 para el año 2020. Esto significa una reducción del 30% con respecto al costo anual total simulado de las condiciones reales. En la tabla 3.7 se presentan los resultados detallados en la tabla comparativa de ambas políticas.

Tabla 3.7. Tabla comparativa estimación de condiciones reales de política actual vs modelo de política con envíos consolidados.

	Política actual de la empresa	Política propuesta de envíos consolidados
Inventario inicial	2,123	1,459
Nivel máximo de inventario	N/A	1,459
Costo por colocación de pedido	\$2,641	\$2,641
Costo anual de mantener inventario	6.5%	6.5%
Inventario promedio (cajas)	696	829
Costo anual de colocación de pedidos	\$36,969	\$17,164
Costo anual de mantener inventario	\$17,606	\$20,971
Costo anual total	\$54,575	\$38,135

Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3 Análisis de sensibilidad para tiempos de revisión

El objetivo de la política propuesta de envíos consolidados por proveedor consiste esencialmente en colocar un pedido nuevo, toda vez que se hace una revisión periódica cada periodo  $R$  a los niveles de inventario de cada uno de los productos de la clase A. La cantidad solicitada será la diferencia entre el nivel máximo de inventario y el nivel que se tenga al momento de la revisión.

A pesar de que el propósito de la política es hacer pedidos agrupados de varios productos a la vez, es posible encontrar el escenario donde no todos los productos se incluyan en todos los pedidos. Esto es, que algunos tengan periodos de revisión  $R$  distintos, como lo es el caso mostrado del proveedor A01.

Esto da pie a crear el escenario de tomar la decisión de incluir todos los productos del proveedor en cada uno de los pedidos. En términos del modelo, implicaría igualar el valor de  $R$  de todos los productos y que el costo fijo  $A$  de colocar un pedido sea dividido equitativamente a cada uno de ellos.

Este planteamiento puede tener un fundamento operativo o extraordinario. Se puede imaginar el caso en el que, por la naturaleza del producto, el almacenamiento de los productos recibidos o simplemente por procesos administrativos, los periodos de revisión puedan no ser tan prolongados como lo plantean los cálculos de la política. Un escenario adicional es como el de este caso de estudio, donde se trabaja con una cantidad de proveedores y productos considerablemente grande, donde, aplicar al pie de la letra la calendarización que la política sugiere resultaría complicado.

Con este propósito, además de ofrecer flexibilidad adicional al personal de la empresa para la toma de decisiones, en la posible implementación de esta política, se analiza el impacto en costos de la inclusión de todos los productos en cada pedido para cada uno de los proveedores. Para esto, se varía la frecuencia con la que se hace una requisición por proveedor, partiendo del periodo de revisión mínimo que los cálculos del modelo sugieren. Estos cálculos son similares a los presentados en el apartado anterior, con la diferencia de que los valores de  $\alpha_i$  y  $R$  serán los mismos para todos los productos, variando gradualmente este último por periodos de 0.5 unidades de tiempo, en este caso,

semanas. Esto se hace con la finalidad de otorgar cierta facilidad en la calendarización de pedidos. Es decir, revisar los niveles de inventario cada media semana.

En la tabla 3.8, se presentan los resultados en costo y su comparación con respecto al modelo original para el proveedor A01 en el año 2020. Los resultados de la política en donde R es distinta sugieren que los periodos de revisión van de 8 semanas para 14 productos, 10 semanas para 3 productos y 12 semanas para únicamente uno, con un costo anual total de \$682,669.

Tabla 3.8. Tabla comparativa de costos con respecto a política sin R homogénea para todos los productos.

<b>Periodo de revisión, R</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Diferencia de costo (\$)</b>	<b>Diferencia de costo (%)</b>
8.0	684,857	2,189	0.3
8.5	685,748	3,079	0.5
9.0	688,659	5,990	0.9
9.5	693,266	10,598	1.6
10.0	699,311	16,642	2.4

Fuente: elaboración propia.

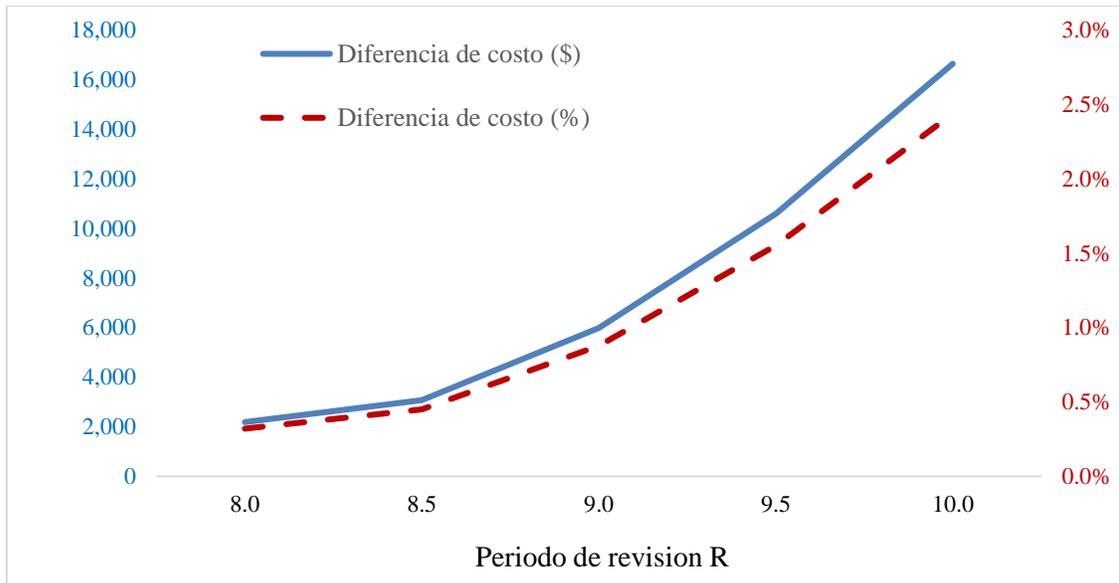


Figura 3.5. Curva de costos para análisis de sensibilidad en intervalos de revisión y su comparación con modelo sin R homogénea. Fuente: elaboración propia.

Como se puede notar en la tabla 3.8, el menor costo de una política en la cual todos los productos del proveedor son incluidos en cada pedido, pertenece a aquella en la que se hace una revisión de niveles de inventario cada 8 semanas. Su costo anual total resulta 0.3% más elevado con respecto al costo del modelo original con periodos de revisión distintos. La figura 3.5 muestra el comportamiento de los costos a medida que se varía el periodo de revisión. El resto de las figuras del análisis de sensibilidad para todos los proveedores seleccionados se muestran en el anexo 3.

#### 3.4.4 Análisis de sensibilidad para costo de mantener inventario

Como indica Noble (1999), si se desea cubrir un cierto nivel de servicio, deben conocerse los costos de mantener inventario con el final de optimizar los sistemas de

logística dentro de las empresas y del canal de distribución. Sin embargo, en muchos casos los componentes de estos costos se desconocen y el de la empresa caso de estudio se encuentra dentro de ellos.

Con el propósito de demostrar a la empresa la importancia de definir el costo de mantener inventario,  $r$ , así como el impacto que tiene sobre el costo total anual de una política de inventarios, se realizó un análisis de sensibilidad sobre esta variable. En el trabajo de Noble (1999) se hace una encuesta a 500 empresas para saber el costo de mantener inventario y se obtuvo que, en promedio, este valor fue de 18%, recordando que usualmente  $r$  es dado como un porcentaje del costo de los productos. En este proceso de análisis se varía gradualmente su valor desde 6.5% hasta el valor promedio obtenido en la encuesta, 18% de cada uno de los productos manejados por el proveedor A01 durante el año 2020. En la tabla 3.9 se presentan los resultados de costos.

Tabla 3.9 Costo anual total del modelo de envíos consolidados para datos del proveedor A01, periodo 2020 con variaciones en el costo  $r$ .

$r$ (%)	Costo anual total (\$)
6.5	756,234
8	816,568
10	921,046
12	1,019,191
14	1,109,027
16	1,199,652
18	1,277,386

Fuente: elaboración propia.

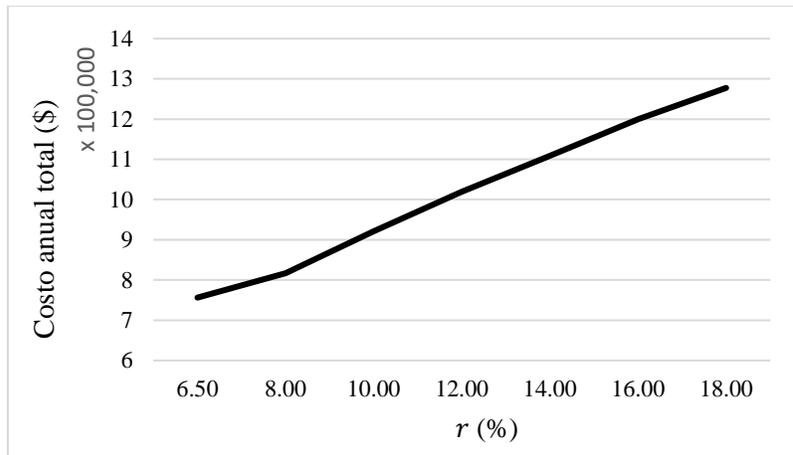


Figura 3.6. Comportamiento del costo total anual variando el costo  $r$ .

Fuente: elaboración propia.

Es importante decir que, como se esperaba, para cada cálculo del modelo con un valor distinto de  $r$ , también se obtuvieron periodos de revisión distintos para cada uno de los productos del proveedor. Sin embargo, el comportamiento del costo anual total mostrado en la figura 3.5, crece prácticamente de manera lineal conforme el valor de  $r$  incrementa. Este análisis de sensibilidad se realizó con los datos obtenidos de los pronósticos de demanda de la semana 113 a 165 de los productos del proveedor A01.

### **3.4.5 Política de revisión periódica para envíos consolidados con demanda desconocida y sin descuentos por cantidades para pronósticos**

De la misma manera en que se hizo en los apartados anteriores, se realizaron los cálculos correspondientes para la aplicación de la política de envíos consolidados para los datos correspondientes a la demanda pronosticada detallada en el apartado 3.2. Hay que recordar que el periodo de los pronósticos cubre 52 semanas posteriores al 4 de marzo de

2021. En la tabla 3.10 se muestran los resultados de la aplicación de esta política para el proveedor A01. En el anexo 4 se encuentran los costos anuales totales y niveles promedio de inventarios para el resto de los proveedores seleccionados.

Tabla 3.10 Resultados generales del modelo de envíos consolidados para pronósticos calculados de los productos del proveedor A01.

<b>Proveedor</b>	<b>ID de producto</b>	<b>Costo anual total (\$)</b>	<b>Nivel promedio de inventario (cajas)</b>
<b>A01</b>	122	176,805	4,935
	145	71,038	1,398
	160	53,719	2,498
	170	36,176	2,826
	186	18,695	4,091
	203	26,725	1,818
	204	40,436	2,240
	227	36,937	1,188
	239	52,794	2,328
	250	31,834	1,419
	282	17,515	867
	287	14,143	698
	308	29,956	1,303
	318	20,913	876
	372	45,878	701
	373	35,292	779
	374	25,853	931
380	21,522	760	
<b>Total</b>		<b>756,234</b>	

Fuente: elaboración propia.

## **4. RESULTADOS**

En este capítulo se presentan de manera comparativa los resultados arrojados por las tablas de estimación de condiciones reales y los resultados del cálculo de la política de envíos consolidados tanto para los valores que la política original sugiere (con posibles valores distintos de R para los productos por proveedor), como para el escenario en el que se optan por envíos consolidados donde R es la misma para todos los productos de cada proveedor. Adicionalmente, se anexan los resultados de los cálculos de la política de envíos consolidados para los pronósticos de demanda correspondientes a las 52 semanas posteriores al 4 de marzo del 2021.

### **4.1 Comparación de desempeño actual vs modelo de envíos consolidados**

En el capítulo 3 se describió el proceso de evaluación tanto de la política de inventarios actual de la empresa, como del modelo de política propuesta. Esta evaluación se realizó con el propósito de hacerlas comparables una con otra bajo las mismas condiciones de demanda y costos en el mismo periodo de tiempo 2020.

Para el caso de la política propuesta, se robustece el modelo mediante un análisis de sensibilidad con el que se muestra el impacto en costos, niveles máximos de inventario y niveles promedio de inventario, al integrar en todos los pedidos a cada proveedor cada uno de sus productos dentro de la clase A.

Inicialmente, en la tabla 4.1 se presenta un resumen de los resultados de la política de envíos consolidados por proveedor por productos agrupados conforme a su periodo de revisión propuesto, así como la cantidad aproximada de cajas a solicitar en cada pedido, el costo anual total y el nivel promedio de inventario durante el año 2020.

El resultado general de la política de envíos consolidados para costos y demanda correspondientes al año 2020 que más interesa a la empresa yace en el costo anual total, que es de \$11,509,114.

Tabla 4.1. Resultados generales del modelo de envíos consolidados según el periodo de revisión de los productos para el periodo 2020.

<b>Proveedor</b>	<b>Periodo de revisión (semanas)</b>	<b>Cantidad por solicitar (aproximado)</b>	<b>Costo anual total (\$)</b>	<b>Nivel promedio de inventario (cajas)</b>
<b>A01</b>	8	36,218	605,890	1,477
	10	5,173	60,191	980
	12	6,369	16,588	3,534
<b>A27</b>	7	3,920	245,744	1,222
<b>B02</b>	2	14,163	743,395	1,881
	4	14,442	311,199	875
	6	2,416	25,445	1,404
<b>B28</b>	10	5,854	167,919	1,638
<b>C03</b>	6	27,156	613,014	1,667
	8	2,026	25,120	1,176
<b>C29</b>	5	8,474	293,911	2,604
<b>D04 (Origen A)</b>	4	28,411	571,593	3,375
	6	7,234	96,602	1,508
<b>D04 (Origen B)</b>	6	10,143	379,079	1,924
<b>E05</b>	6	27,604	456,748	1,998
	8	4,094	42,540	1,180
<b>F06</b>	5	5,681	509,493	473
	7	7,886	45,575	2,193

Proveedor	Periodo de revisión (semanas)	Cantidad por solicitar (aproximado)	Costo anual total (\$)	Nivel promedio de inventario (cajas)
	9	1,901	15,015	1,057
<b>G07</b>	5	31,854	680,530	2,357
	7	1,960	31,964	1,165
<b>H08</b>	8	19,623	464,642	1,610
<b>I09</b>	6	19,092	358,193	1,846
<b>J10 (Origen A)</b>	14	17,613	134,555	4,823
<b>J10 (Origen A)</b>	9	19,528	223,128	2,833
<b>K11</b>	6	11,662	237,599	1,741
	8	2,893	30,633	1,970
<b>L12</b>	7	16,523	431,228	1,905
<b>M13</b>	7	10,351	286,059	1,514
<b>N14</b>	6	5,913	204,07	1,144
	8	2,183	12,276	1,246
<b>O15</b>	6	21,405	260,004	3,988
	8	1,963	17,801	1,103
<b>P16</b>	10	15,060	159,177	2,212
<b>Q17</b>	8	20,244	199,690	2,788
<b>R18</b>	11	25,119	165,987	3,603
<b>S19</b>	8	36,070	277,707	6,747
	10	2,660	17,663	1,478
<b>T20</b>	8	19,959	254,868	2,906
<b>U21</b>	9	38,029	257,577	7,029
<b>V22</b>	5	18,373	422,100	3,562
<b>W23</b>	4	11,881	542,863	2,467
<b>X24</b>	9	11,347	209,214	2,194
<b>Y25</b>	6	6,236	308,774	1,269
<b>Z26</b>	10	4,164	95,746	1,199
<b>Total</b>		<b>610,873</b>	<b>11,509,114</b>	

Fuente: elaboración propia.

## **4.2 Comparación de desempeño actual vs modelo de envíos consolidados y envíos consolidados con $R$ homogénea por proveedor**

En la tabla 4.2 se muestra la comparación de resultados arrojados por cada una de las políticas para el proveedor A01. La primera de ellas es el producto de la estimación de las condiciones reales de demanda en el año 2020 a partir de un nivel de inventario inicial dado para cada uno de los productos de la clase A.

La segunda corresponde a la aplicación del modelo de envíos consolidados. En ella, existe un filtro adicional para un par de proveedores: J10 y D04. Estos proveedores envían sus productos desde dos instalaciones distintas, por lo que se aplicó el modelo por separado para cada una de ellas. La razón de lo anterior es que, debido a que si bien cada uno de estos proveedores maneja un grupo de productos definido, algunos de ellos son enviados desde orígenes distintos. Por lo tanto, es preciso calcular envíos consolidados por origen, ya que, de hacerlo para todos los productos por proveedor, implicaría coordinación logística y administrativa más complicada y costosa.

Es importante aclarar que, en ella existen distintos valores para el periodo de revisión de niveles de inventario,  $R$ , aún si son surtidos desde un origen compartido.

La tercera corresponde a los cálculos en los que se agrupan todos los productos de cada proveedor, también aplicando el filtro de origen para cada uno de ellos. Sin embargo, a diferencia del modelo recién descrito, aquí se ajusta el modelo de tal manera que el periodo de revisión  $R$  sea el mismo para todos los productos que comparten el mismo

origen. Recordando que para cada proveedor se realizó un análisis de sensibilidad, la elección de R para esta comparativa se hace con base en aquella que arroje el menor costo anual total. Para consultar los resultados obtenidos para el resto de los proveedores, consulte el anexo 5.

Tabla 4.2. Resultados generales, estimaciones de condiciones reales de política actual vs modelo envíos consolidados vs modelo envíos consolidados con R homogénea para los productos del proveedor A01.

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020. Estimación. (\$)	Costo anual total 2020. Envíos consolidados. (\$)	Diferencia con respecto a política de envíos consolidados (%)	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo. (\$)	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a política de envíos consolidados. (%)
<b>A01</b>	122	189,872	138,622	37	93,943	102
	145	204,903	77,119	166	58,521	250
	160	56,477	37,115	52	38,169	48
	170	56,017	40,956	37	40,889	37
	186	27,749	16,588	67	23,999	16
	203	33,232	24,724	34	31,043	7
	204	16,198	19,269	-16	26,091	-38
	227	89,186	32,880	171	35,192	153
	239	33,287	25,746	29	32,065	4
	250	32,379	23,497	38	29,817	9
	282	44,592	20,941	113	27,484	62
	287	56,386	19,981	182	26,672	111
	308	34,127	29,243	17	33,701	1
	318	23,326	25,090	-7	31,410	-26
	372	125,111	59,943	109	52,449	139
	373	54,575	39,594	38	40,124	36
	374	49,043	26,751	83	32,556	51
	380	26,493	24,608	8	30,734	-14
<b>Total</b>		<b>1,152,952</b>	<b>682,669</b>	<b>69%</b>	<b>684,857</b>	<b>68%</b>

Fuente: elaboración propia.

### 4.3 Análisis

En este apartado se pretende dar respuesta a la pregunta ¿Por qué las políticas actuales no satisfacen las necesidades de la empresa?. Se analizan dos escenarios que afectan de manera directa a los indicadores que la empresa implementa en sus inventarios: fill rate, nivel promedio de inventario y costo anual total.

Mediante la tabla 4.2 y el anexo 5 se demuestra que los costos anuales totales de ambos escenarios de la política de envíos consolidados son considerablemente más bajos que los correspondientes a la política actual de la empresa. No obstante, existen IDs de productos que presentan un costo anual total más alto con esta misma política. Para el escenario de envíos consolidados original, se trata de 17 productos (10% del total analizado): Se trata de los IDs 204, 318, 218, 294, 300, 341, 377, 91, 361, 18, 291 313, 183, 201, 164, 106 y 213.

Se debe recordar que, para este trabajo, los costos por faltantes no fueron considerados. En consecuencia, si algún producto tuvo faltantes en su tabla de estimación, no se reflejó una penalización en el costo total anual y se consideraron únicamente costos por colocación de pedidos y por mantener inventario.

Dando una revisión a la cantidad de cajas no surtidas en los resultados de estimación, 12 de estos productos rebasan el promedio de faltantes (3,021 cajas) y ninguno de ellos supera la tasa de fill rate promedio (90%). Esto explica el bajo costo de la política

actual para estos productos. Además, como se explicó anteriormente, en el ejercicio de estimación se trabajó con el supuesto optimista de asumir el costo de colocación de pedidos igual al de la política de envíos consolidados para cada uno de los ID. A continuación, en la tabla 4.3, se muestran el total de faltantes y el fill rate semanal promedio para todos los ID mencionados anteriormente. La gráfica de faltantes y niveles de inventario finales de 5 de ellos se muestra en las figuras 4.1 a 4.5.

Tabla 4.3. Cantidad de faltantes y fill rate semanal promedio en estimaciones de condiciones reales periodo 2020, para los IDs con costo simulado menor a modelo de envíos consolidados.

Fuente: elaboración propia.

<b>ID</b>	<b>Faltantes (cajas)</b>	<b>Fill rate semanal promedio (%)</b>
18	55,246	32
91	27,905	53
106	27,663	75
164	16,926	61
291	15,759	45
300	11,280	40
313	5,606	59
213	5,575	51
218	5,228	68
294	5,174	80
377	4,552	67
201	3,722	84
183	2,671	88
341	2,619	80
318	2,001	85
361	1,874	70
204	1,584	89

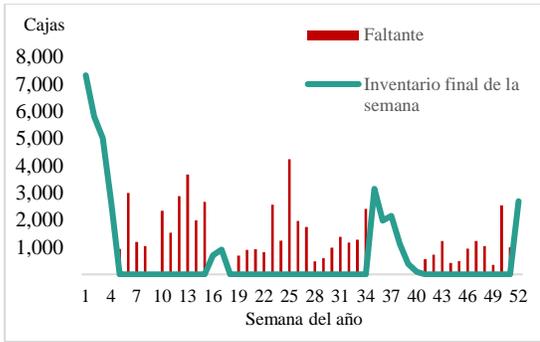


Figura 4.1. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 18.

Fuente: elaboración propia.

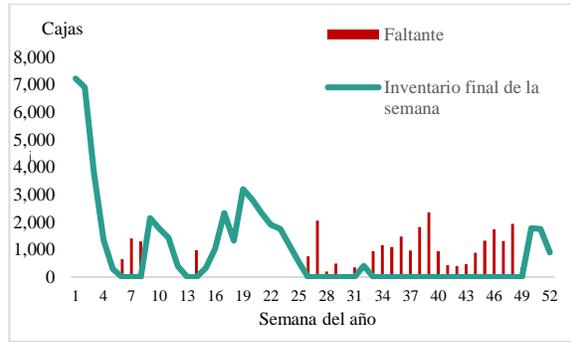


Figura 4.2. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 91.

Fuente: elaboración propia.

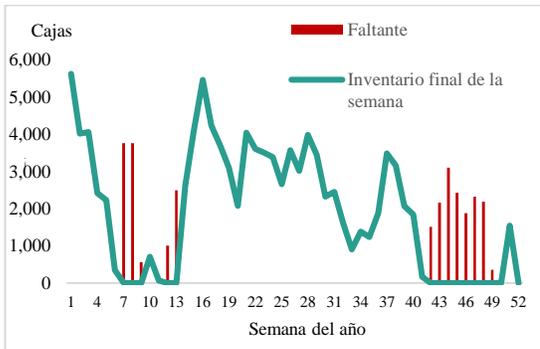


Figura 4.3. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 106.

Fuente: elaboración propia.

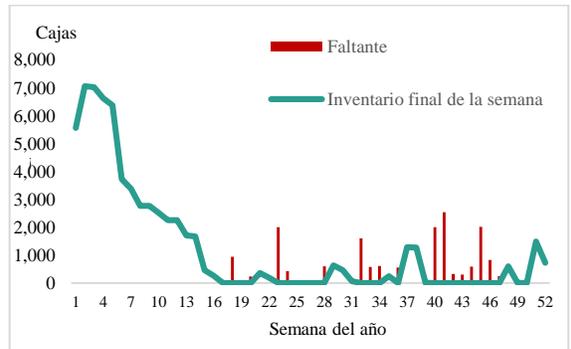


Figura 4.4. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 164.

Fuente: elaboración propia.

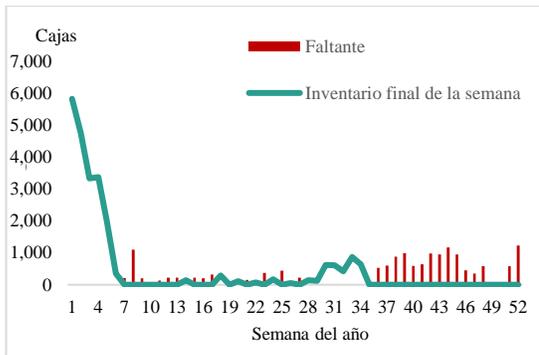


Figura 4.5. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 291.

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se analizaron los productos que arrojaron una aplicación de la política actual con costo anual total más bajo con respecto al modelo propuesto, fue conveniente analizar también a los IDs que, en su aplicación de envíos consolidados, presentan mayores ahorros con respecto a la política actual.

Si se toman los 10 productos que encabezan el listado, se tiene a los ID 62, 12, 65 (proveedor B02), 76, 247, 176, 357 (proveedor C03), 5 (proveedor D04), 360 (proveedor N14) y 286 (proveedor A27). Lo primero a resaltar es que estos 10 productos que encabezan la lista de mayores ahorros son surtidos al centro de distribución por únicamente 4 proveedores distintos de los casi 30 analizados.

Si se analizan las gráficas de niveles de inventario al final de cada semana durante el año simulado de la política actual, es posible notar que todos ellos tienen el mismo comportamiento. Los niveles de inventario mostrados crecen gradualmente a lo largo del tiempo. En este comportamiento, si bien se satisfizo el 100% de los pedidos en 9 de los 10 de los ID en todas las semanas del 2020, se incurre también a un costo anual total más alto por el componente de mantener grandes cantidades de producto.

Como parte de este análisis, se recurrió al personal del centro de distribución para corroborar que el comportamiento mostrado en las gráficas sea correcto y apegado a la realidad. La conclusión fue que, si bien las cifras calculadas estaban ligeramente alejadas de las referidas por el personal de la empresa, los niveles de inventario crecientes son semejantes a los mostrados en los cálculos. La razón principal de esto es que, debido a la cantidad mayúscula de cajas manejadas de estos productos, se genera una alta tasa de merma. Desafortunadamente el acceso a información histórica de este campo no pudo ser posible debido a términos de confidencialidad en la empresa.

No obstante, en la tabla 4.4 se muestran los niveles de inventario promedio anual en cada una de las políticas, costos anuales por mantener inventario y su diferencia porcentual. De igual manera, las figuras 4.6 a 4.15 muestran el comportamiento de los niveles de inventario y faltantes para estos productos. Estos resultados corroboran que existe un problema grave en cuanto al almacenamiento de los productos de los 4 proveedores mencionados.

Tabla 4.4 Niveles de inventario promedio y costos anuales totales en estimación de condiciones reales vs modelo de envíos consolidados en periodo 2020, para los IDs con mayor ahorro en costos.

ID	Inventario promedio estimación (cajas)	Inventario promedio envíos consolidados (cajas)	Costo anual mantener inventario estimación (\$)	Costo anual de mantener inventario envíos consolidados (\$)	Diferencia (%)
62	48,164	1,206	\$2,290,410	\$57,330	3,895
76	45,561	2,486	\$630,547	\$34,412	1,732
247	18,904	1,289	\$261,623	\$17,841	1,366
176	22,138	1,677	\$306,385	\$23,206	1,220
5	122,616	8,655	\$1,861,712	\$131,412	1,317
360	7,371	564	\$260,118	\$19,914	1,206
12	61,737	4,069	\$1,469,205	\$96,840	1,417
65	19,996	1,583	\$1,316,332	\$104,231	1,163
286	8,196	923	\$125,851	\$14,176	788
357	3,358	398	\$239,076	\$28,310	744

Fuente: elaboración propia.

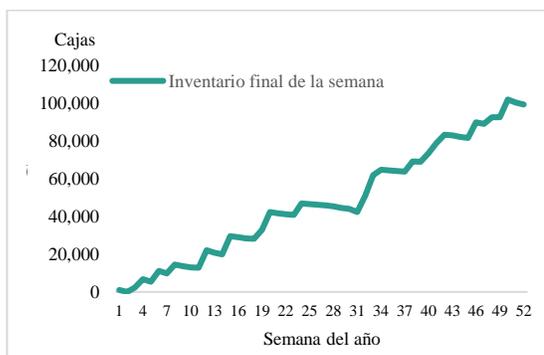


Figura 4.6. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 62.

Fuente: elaboración propia.

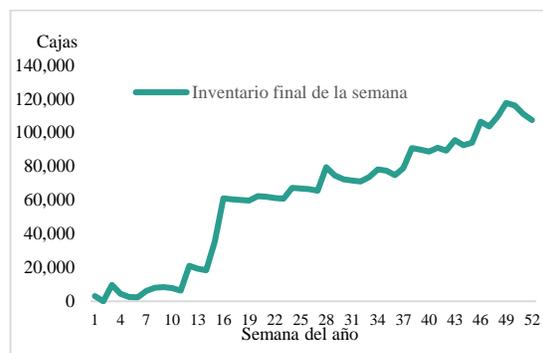


Figura 4.7. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 12.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.8. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 65.

Fuente: elaboración propia.

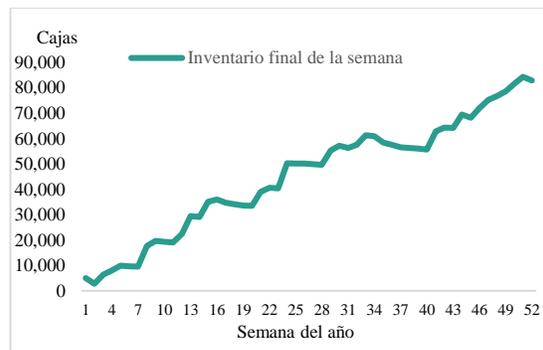


Figura 4.9. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 76.

Fuente: elaboración propia.

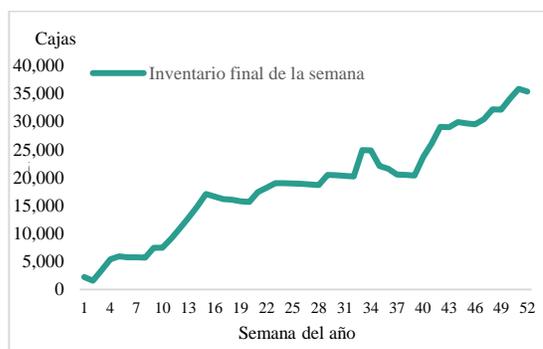


Figura 4.10. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 247.

Fuente: elaboración propia.

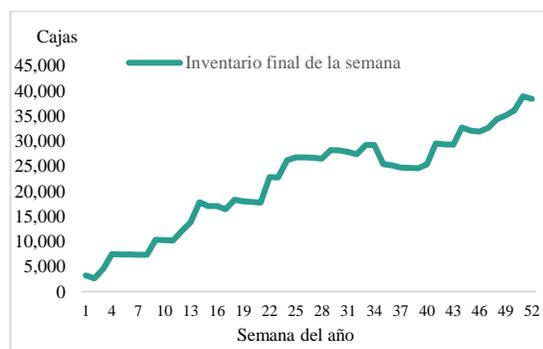


Figura 4.11. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 176.

Fuente: elaboración propia.

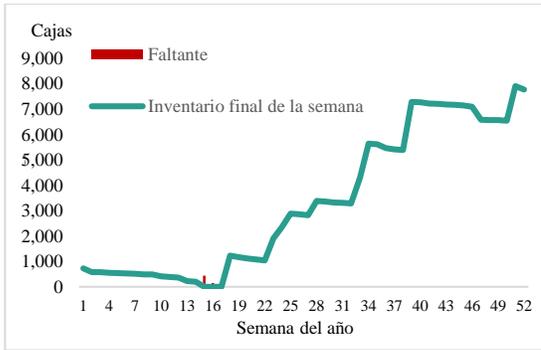


Figura 4.12 Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 357.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.13. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 5.

Fuente: elaboración propia.

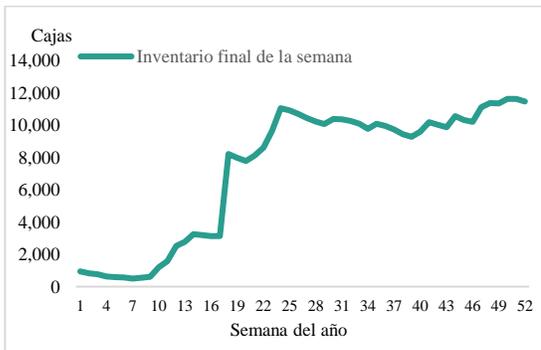


Figura 4.14. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 360.

Fuente: elaboración propia.



Figura 4.15. Comportamiento de nivel de inventario y faltantes al final de cada semana en estimación del periodo 2020. ID 286.

Fuente: elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

Una de las principales preocupaciones del personal de la empresa caso de estudio actualmente, es que el manejo de inventarios dentro de su centro de distribución no está definido por una política correcta. El objetivo de este documento fue proveer a los tomadores de decisiones un modelo de políticas de inventario que permita un mejor desempeño con respecto a la política actual. Dentro de este desempeño se integra el costo anual total, niveles de inventario promedio y fill rate.

Como parte de un análisis inicial, se realizó una clasificación ABC de los productos que se manejan dentro del centro de distribución y que son surtidos a cada una de las tiendas minoristas también de la empresa. Esta clasificación se realizó con base en tres aspectos que los tomadores de decisiones solicitaron, productos de un conjunto de dos familias que representaran mayor valor económico y que también formaran parte de los más solicitados y surtidos. Se obtuvo que 287 productos del catálogo existente forman esta clase de mayor importancia, a la cual se le identifica ahora como clase A.

A partir del análisis descrito y ahora con un listado bien definido de los productos de mayor importancia, fue posible realizar un análisis de demanda y dar respuesta a la pregunta ¿Cuál es el comportamiento de la demanda a lo largo del tiempo que presentan los productos?. La principal conclusión es que el 41% de los productos dentro de la clase A, son productos que tienen disponibilidad únicamente en ciertas épocas del año, son productos discontinuados o bien, que ya no son incluidos en el catálogo actual de la

empresa. Este conjunto de productos fue descartado para consideración dentro de la política propuesta. El resto fue posteriormente clasificado por proveedor y el origen desde donde parten hacia el centro de distribución de la empresa. Asimismo, fue posible observar que de los productos analizados de la clase A, el 60% no presentó ninguna tendencia, es decir, la demanda fue relativamente nivelada a lo largo del periodo. Sin embargo, el 32% presentó una tendencia ligeramente positiva y el resto, alrededor del 8%, muestra una tendencia a la baja.

Actualmente las políticas de colocación de pedidos y almacenamiento de los diferentes productos están definidas únicamente por la experiencia del personal a cargo. Esto significa que no existen lineamientos bien definidos que den marcha a revisiones de niveles de inventario real y que las nuevas órdenes de compra se coloquen únicamente bajo el criterio de los compradores de los diferentes departamentos.

Como propuesta de solución para el control de los inventarios, se analiza la implementación de una política de envíos consolidados con revisiones periódicas a los niveles de inventario de los productos seleccionados. Con ella, se facilita la colocación de pedidos de diferentes IDs en distintas cantidades a cada uno de los proveedores según sus instalaciones de origen. Esto facilitaría procesos tanto administrativos como operativos del proveedor y de la empresa.

Debido a que no se tiene un dato concreto del costo que tiene la política de inventarios actual ni un registro histórico del comportamiento de los niveles de inventario de los productos, fue necesario proponer una alternativa que diera respuesta a estos cuestionamientos. Al desconocimiento de estos datos, se suma el de unidades faltantes, por lo que se omiten dentro del análisis. Se realizaron tablas de estimación alimentadas por un inventario inicial, la demanda real del año 2020 y costos de mantener inventario y colocación de pedidos para cada uno de los productos. Con estos resultados fue posible comparar el desempeño de las políticas actuales contra la propuesta.

¿Qué adecuaciones se deben hacer a las políticas de inventario actuales? Como principales ajustes a las condiciones en las cuales se colocan pedidos nuevos actualmente, se tiene que ahora el personal a cargo haría una revisión a los niveles de inventario de la clase A de manera periódica. Este periodo estaría definido por los cálculos realizados, puesto que es un dato de salida del modelo de envíos consolidados. Además, toda vez que se realice esta revisión, se colocarán órdenes de compra a los proveedores, lo que permitirá también una reducción de carga de trabajo administrativo y calendarización de pedidos. Las cantidades de producto a solicitar en las órdenes de compra serán definidas por la diferencia entre el nivel máximo de inventario calculado en el modelo y el nivel de inventario actual al momento de la revisión.

En total se realizaron cálculos del modelo de política de inventarios por envíos consolidados para un conjunto de 29 proveedores distintos. Esta selección de proveedores consiste únicamente en aquellos que reúnen el 80% del total de productos de la clase A. Cada uno de estos proveedores envía diferentes productos al centro de distribución, dos de ellos lo hacen desde dos ubicaciones distintas. Por lo tanto, fueron 31 cálculos distintos por origen de los productos bajo tres escenarios distintos.

El primer escenario trata las condiciones de demanda y costos del año 2020 para compararse con las condiciones simuladas del mismo año. El segundo fue con la condición de hacer que cada uno de los productos por origen por proveedor se integraran a cada pedido, seleccionando el periodo de revisión que tuviera menos impacto en el costo total. Y, finalmente, el tercero se realizó con los datos de la demanda pronosticada de 52 semanas posteriores al último día del que se tienen datos. Para todos los casos se calculó la política de envíos consolidados con un 95% de probabilidad de existencias durante el periodo de revisión y tiempo de entrega, por lo que el indicador fill rate se mantendría cerca de este nivel. Relativo a esto, para el escenario de estimación se obtuvo que el fill rate semanal promedio de todos los proveedores, no rebasa el 90%. El producto con este indicador más crítico registró un nivel de 32%. Con esta información y con las figuras 4.1 a 4.5 se responde la pregunta ¿Qué productos presentan mayor desabastecimiento?

Los cálculos arrojan que la política de envíos consolidados tendría un costo anual total de \$11,509,114 para datos del 2020. Para el mismo periodo, pero bajo condiciones

simuladas se tendría un costo anual total de \$31,389,464. Esto es un ahorro de 173% aproximadamente con respecto al costo de la política propuesta. En términos de niveles de inventario semanal, se tendría una reducción promedio de 3,549 cajas aproximadamente para todo el conjunto de productos analizados.

Ahora bien, si se compara la política de envíos consolidados, pero ahora bajo el esquema de periodos de revisión homogéneos entre productos del mismo proveedor para el mismo periodo, existiría un ahorro de \$19,735,419. Es decir, se habla de un ahorro aproximado de 169% en el costo anual total con respecto al costo de la política actual. Asimismo, los niveles promedio por proveedor, se verían reducidas en 3,614 cajas semanales.

Finalmente, el costo anual total para los pronósticos de demanda sería de \$12,806,398 con un nivel de inventario semanal promedio de 2,135 cajas.

En conclusión, la implementación de un modelo de política de inventarios de envíos consolidados resulta conveniente en todos los valores de referencia analizados. Sin importar si se realizan periodos de revisión periódica homogéneos o distintos entre grupos de un mismo proveedor, según los cálculos, habría un beneficio para la empresa en términos de costos anuales totales, niveles de inventario por proveedor y nivel de satisfacción de demanda por producto individual.

## **5.1 Aportes a la empresa caso de estudio**

Como parte del desarrollo inicial de este documento, fue necesario realizar un análisis de los datos relativos a la demanda que ha tenido el centro de distribución por parte de las tiendas minoristas. Parte de este análisis fue hacer una selección de productos con los que posteriormente se trabajó en la política propuesta. Esta selección contiene los productos más importantes, los cuales son definidos por ser aquellos con mayor cantidad demandada, con mayor cantidad surtida y que mayor valor monetario representan. Este conjunto de productos, además de ser de utilidad para el presente documento, fue referencia sustentada cuantitativamente para realizar movimientos estratégicos en la distribución espacial dentro del almacén.

Además, mediante el uso de tablas de estimación y el cálculo del modelo de envíos consolidados para los datos de los productos seleccionados, es posible demostrar a los tomadores de decisiones la importancia de la implementación de una política de inventarios bien definida. Como se demostró antes, los valores de los indicadores que la empresa emplea se verían mejorados sustancialmente si se decide implementar la política sugerida en este documento.

## **5.2 Recomendaciones**

Como se explicó en el contenido del documento, la obtención y depuración de la información generada por el sistema interno de control del centro de distribución presenta errores que, de no ser corregidos, pueden complicar análisis y generar pronósticos de demanda con cifras equivocadas. Corregir lo anterior es un proceso que lleva tiempo y trabajo que puede ser omitido. Por lo anterior y como primera recomendación, se sugiere a los tomadores de decisiones de la empresa la implementación de sistemas de información capaces de generar datos confiables y disponibles en primera instancia a los analistas de la empresa. Con esto, la generación de reportes y un control más estricto de la mercancía dentro del centro de distribución.

Como se detalla en la sección 3.2 de este trabajo, tres criterios de selección fueron considerados para realizar la clasificación ABC y con ello, tener un conjunto de productos en torno a los cuales, se propuso una política de inventarios según el análisis de demanda. Estos tres criterios, aunque son de mayor importancia para los tomadores de decisiones del centro de distribución, pueden dejar excluidos en la clase A, a aquellos productos que pudieran ser de mayor interés para la dirección general de la empresa. Por lo anterior, podrían considerarse criterios que a ambos convenga. Se sugiere que uno de ellos sea el beneficio económico. Es decir, incluir en la clase A, a aquellos productos que generen mayor utilidad a la empresa.

Uno de los retos que se encuentran dentro del centro de distribución que hacen complicada la evaluación del desempeño del personal y de los procesos que se llevan a cabo dentro, es la falta del uso de indicadores. Como se indicó anteriormente, hasta la fecha únicamente se evalúa de forma certera el fill rate, mediante el cual se mide la proporción surtida de un pedido de producto colocado por una tienda minorista al centro de distribución. Esta es la razón por la cual se sugiere al personal de la empresa la implementación de métricas adicionales, (por ejemplo, tiempo de preparación de pedidos, rendimiento de proveedores, devoluciones por pedidos erróneos, etc.) para una evaluación más detallada y control más estricto de procesos dentro del centro de distribución. Esto, en trabajo conjunto con un sistema de información más robusto, contribuirían a un mejor funcionamiento coordinado de toda la cadena de suministro. Además, se ubicarían más fácilmente las causas de problemas que desencadenan deficiencias en el funcionamiento del centro de distribución.

### **5.3 Trabajo futuro**

Como propuestas de trabajo futuro, está la organización y coordinación de revisión de niveles de inventario por producto para la posterior colocación de pedidos. Asimismo, en el análisis de demanda fue posible observar que algunos productos presentan salidas del centro de distribución casi exclusivamente en temporadas específicas del año. Un análisis más profundo a estos productos resulta conveniente para proponer una política de inventarios especial para artículos con este comportamiento.

Adicionalmente, se considera en el trabajo futuro una clasificación ABC con parámetros distintos a los empleados en este trabajo. Uno de ellos es la priorización de los productos que históricamente han generado más ganancias a la empresa. Un análisis de la demanda histórica de estos productos también se incluye para la propuesta de una política de inventarios adecuada.

## REFERENCIAS

- Alimardani, M., Jolai, F., & Rafiei, H. (2013). Bi-product inventory planning in a three-echelon supply chain with backordering, Poisson demand, and limited warehouse space. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/2251-712X-9-22>
- AriaNezhad, M. G., Makuie, A., & Khayatmoghadam, S. (2013). Developing and solving two-echelon inventory system for perishable items in a supply chain: case study (Mashhad Behrouz Company). *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/2251-712X-9-39>
- Axsäter, S., Kleijn, M., & De Kok, T. G. (2004). Stock rationing in a continuous review two-echelon inventory model. *Annals of Operations Research*, 126(1–4), 177–194. <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000012280.68155.a3>
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administracion de la Cadena de Suministro* (E. Quintanar Duarte (ed.); Quinta Edi). PEARSON EDUCACIÓN.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro* (5ta edición). PEARSON EDUCACIÓN.
- Gharaei, A., Karimi, M., & Hoseini Shekarabi, S. A. (2019). An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control polices and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 69, 223–254. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.11.035>
- Hajiaghvaei-Keshteli, M., & Sajadifar, S. M. (2010). Deriving the cost function for a class

- of three-echelon inventory system with N-retailers and one-for-one ordering policy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), 343–351. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2486-9>
- Hajiaghaei-Keshteli, M., Sajadifar, S. M., & Haji, R. (2011). Determination of the economical policy of a three-echelon inventory system with (R, Q) ordering policy and information sharing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(5–8), 831–841. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-3112-6>
- Hoseini Shekarabi, S. A., Gharaei, A., & Karimi, M. (2019). Modelling and optimal lot-sizing of integrated multi-level multi-wholesaler supply chains under the shortage and limited warehouse space: generalised outer approximation. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 6(3), 237–257. <https://doi.org/10.1080/23302674.2018.1435835>
- Jain, S., & Raghavan, N. R. S. (2009). A queuing approach for inventory planning with batch ordering in multi-echelon supply chains. *Central European Journal of Operations Research*, 17(1), 95–110. <https://doi.org/10.1007/s10100-008-0077-8>
- Jaruphongsa, W., Çetinkaya, S., & Lee, C. Y. (2004). A two-echelon inventory optimization model with demand time window considerations. *Journal of Global Optimization*, 30(4), 347–366. <https://doi.org/10.1007/s10898-004-6092-y>
- Kaur, P., Pradhan, B. L., & Priya, A. (2022). TODIM Approach for Selection of Inventory Policy in Supply Chain. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5959116>

- Liu, Y., Dehghani, E., Jabalameli, M. S., Diabat, A., & Lu, C. C. (2020). A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory–optimization model approach. *Computers and Industrial Engineering*, 142(January), 106326. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106326>
- Lu, L., & Qi, X. (2011). Dynamic lot sizing for multiple products with a new joint replenishment model. *European Journal of Operational Research*, 212(1), 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.01.031>
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications* (3rd ed.). New York : John Wiley & Sons.
- Nagaraj, P., & Selladurai, V. (2002). Analysis of optimum batch size in multistage, multifacility and multiproduct manufacturing systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(2), 117–124. <https://doi.org/10.1007/s001700200004>
- Noble, C. H. (1999). Developments in Marketing Science: Proceedings of the Academy of Marketing Science More. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Ortiz Pinilla, J., & Gil, D. (2014). Transformaciones logarítmicas en regresión simple. *Comunicaciones En Estadística*, 7(1), 80. <https://doi.org/10.15332/s2027-3355.2014.0001.06>
- Parjane, M. B., Dabade, B. M., & Gulve, M. B. (2017). Two Echelon Supply Chain Integrated Inventory Model for Similar Products: A Case Study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(3), 353–358.

<https://doi.org/10.1007/s40032-016-0221-5>

Petridis, K. (2015). Optimal design of multi-echelon supply chain networks under normally distributed demand. *Annals of Operations Research*, 227(1), 63–91.

<https://doi.org/10.1007/s10479-013-1420-6>

Ravindran, A. R., & Warsing Jr., D. (2016). Supply Chain Engineering. In A. R. Ravindran & D. P. Warsing (Eds.), *Supply Chain Engineering*.

<https://doi.org/10.1201/b13184>

Sadeghi, J. (2015). A multi-item integrated inventory model with different replenishment frequencies of retailers in a two-echelon supply chain management: a tuned-parameters hybrid meta-heuristic. *Opsearch*, 52(4), 631–649.

<https://doi.org/10.1007/s12597-015-0198-5>

Samaniego, F. J. (2011). Bayesian vs. Classical Point Estimation: A Comparative Overview. *International Encyclopedia of Statistical Science*, 136–138.

[https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2\\_140](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_140)

Shafieezadeh, M., & Sadegheih, A. (2014). Developing an integrated inventory management model for multi-item multi-echelon supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(5–8), 1099–1119.

<https://doi.org/10.1007/s00170-014-5684-z>

Shen, X., Yu, Y., & Song, J.-S. (2022). Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem with Service Time Target and Expediting. *Manufacturing & Service Operations Management*. <https://doi.org/10.1287/msom.2022.1079>

Song, J.-S., & Xue, Z. (2021). Demand Shaping Through Bundling and Product

- Configuration: A Dynamic Multiproduct Inventory-Pricing Model. *Operations Research* <https://doi.org/10.1287/opre.2020.2062>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2016). Inventory and Production Management in Supply Chains. In *Inventory and Production Management in Supply Chains* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315374406>
- Thangam, A., & Uthayakumar, R. (2009). A two-level distribution inventory system with stochastic lead time at the lower echelon. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(11–12), 1208–1220. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1567-5>
- Van Der Heijden, M., Diks, E., & De Kok, T. (1999). Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times. *OR Spektrum*, 21(3), 331–359. <https://doi.org/10.1007/s002910050093>
- Varyani, A., Jalilvand-Nejad, A., & Fattahi, P. (2014). Determining the optimum production quantity in three-echelon production system with stochastic demand. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(1–4), 119–133. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5621-1>
- Vogt, W. (2008). The Concise Encyclopedia of Statistics. In *Dictionary of Statistics & Methodology* (Vol. 1). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1>
- Zijm, H., & Timmer, J. (2008). Coordination mechanisms for inventory control in three-echelon serial and distribution systems. *Annals of Operations Research*, 158(1), 161–182. <https://doi.org/10.1007/s10479-007-0239-4>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Cantidad de cajas solicitadas, surtidas y monto que representaron por producto de clase A de enero 2019 a marzo 2021. Fuente: elaboración propia con información proporcionada por personal de la empresa.

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 1	798,848	1,120,534	\$89,972,726.33
ID 2	441,045	493,778	\$40,612,331.44
ID 3	6,115	382,683	\$7,549,807.25
ID 4	326,095	335,587	\$36,131,640.92
ID 5	288,382	331,613	\$251,370,887.86
ID 6	249,324	297,324	\$58,097,813.20
ID 7	241,923	288,351	\$83,554,659.89
ID 8	157,070	283,903	\$58,165,062.59
ID 9	220,569	271,930	\$103,414,072.69
ID 10	236,165	260,114	\$68,326,776.72
ID 11	202,544	235,036	\$39,127,554.21
ID 12	156,060	230,018	\$73,525,099.53
ID 13	226,669	229,764	\$105,846,647.54
ID 14	109,256	207,759	\$50,681,030.39
ID 15	140,284	201,670	\$16,598,266.34
ID 16	122,425	196,217	\$31,044,170.87
ID 17	123,943	190,008	\$40,509,884.57
ID 18	136,695	181,156	\$19,259,519.06
ID 19	136,432	166,308	\$34,148,604.39
ID 20	122,524	165,412	\$22,618,194.46
ID 21	143,210	161,438	\$7,286,473.88
ID 22	130,795	156,208	\$22,703,602.79
ID 23	105,497	154,377	\$12,457,859.75
ID 24	77,258	148,271	\$32,514,635.20
ID 25	17,360	147,052	\$13,234,781.03
ID 26	113,252	141,370	\$11,657,387.21
ID 27	120,550	133,207	\$4,957,883.01
ID 28	56,521	130,247	\$56,255,053.02
ID 29	95,762	126,677	\$32,085,145.32
ID 30	116,010	121,371	\$29,829,337.71

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 31	59,629	120,037	\$12,210,752.25
ID 32	33,575	120,032	\$22,929,528.60
ID 33	114,152	118,310	\$33,735,334.76
ID 34	111,841	118,212	\$10,249,525.72
ID 35	77,616	115,688	\$9,716,183.01
ID 36	84,561	115,548	\$30,005,450.74
ID 37	100,044	113,749	\$31,025,511.04
ID 38	39,637	112,608	\$55,548,160.27
ID 39	98,981	111,582	\$32,620,376.55
ID 40	92,676	107,317	\$50,566,421.39
ID 41	64,971	103,132	\$16,047,130.71
ID 42	80,937	103,061	\$42,360,926.88
ID 43	43,534	101,920	\$46,676,466.80
ID 44	84,784	101,520	\$16,026,293.13
ID 45	93,907	99,756	\$29,917,182.31
ID 46	94,333	99,482	\$7,287,318.57
ID 47	70,626	96,299	\$11,453,346.41
ID 48	41,560	95,386	\$10,724,868.36
ID 49	67,870	95,317	\$15,675,274.42
ID 50	59,005	94,392	\$15,631,955.66
ID 51	76,388	94,088	\$23,438,577.55
ID 52	56,893	90,389	\$29,117,296.73
ID 53	78,921	90,218	\$80,245,500.01
ID 54	87,547	88,609	\$7,063,217.88
ID 55	73,653	88,183	\$13,471,264.77
ID 56	49,509	87,309	\$13,131,865.74
ID 57	53,215	86,543	\$83,492,334.05
ID 58	70,088	85,759	\$55,135,474.07
ID 59	53,850	81,160	\$50,256,151.54
ID 60	68,116	79,153	\$23,532,936.16

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 61	52,573	79,046	\$27,219,241.45
ID 62	39,222	77,637	\$8,336,423.03
ID 63	61,159	77,590	\$24,867,117.90
ID 64	34,961	77,509	\$24,755,345.63
ID 65	46,224	76,093	\$49,619,925.02
ID 66	73,003	75,683	\$21,500,774.06
ID 67	30,021	75,360	\$19,150,657.62
ID 68	47,308	75,114	\$6,460,730.40
ID 69	58,977	74,777	\$13,678,536.26
ID 70	53,290	73,672	\$8,695,491.92
ID 71	61,873	73,203	\$35,973,627.60
ID 72	30,523	72,358	\$16,570,552.80
ID 73	60,956	72,227	\$63,831,215.61
ID 74	49,735	70,148	\$30,378,138.27
ID 75	21,727	69,542	\$21,158,310.28
ID 76	68,664	68,426	\$16,552,970.56
ID 77	59,924	66,630	\$31,891,464.02
ID 78	42,914	66,533	\$21,723,869.11
ID 79	51,207	66,223	\$15,386,333.23
ID 80	44,887	66,032	\$21,061,402.61
ID 81	48,726	65,960	\$9,204,809.87
ID 82	49,220	65,823	\$4,562,793.01
ID 83	55,221	65,396	\$4,176,161.24
ID 84	46,430	65,144	\$16,665,235.62
ID 85	32,543	64,959	\$14,606,362.86
ID 86	54,853	64,197	\$20,106,491.16
ID 87	55,801	64,090	\$8,338,554.08
ID 88	31,950	64,049	\$10,388,081.54
ID 89	43,320	61,982	\$6,423,645.83
ID 90	53,239	61,804	\$13,504,788.67
ID 91	50,375	61,666	\$55,806,342.72
ID 92	22,192	60,738	\$9,182,003.56
ID 93	47,312	60,533	\$8,976,416.03
ID 94	52,541	60,448	\$20,490,607.25
ID 95	27,169	60,354	\$10,107,588.31

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 96	37,262	60,348	\$22,990,861.10
ID 97	44,557	59,285	\$35,044,254.00
ID 98	39,107	58,641	\$13,011,674.10
ID 99	13,746	58,552	\$4,990,678.66
ID 100	48,855	57,821	\$7,120,792.09
ID 101	26,314	57,555	\$20,377,169.29
ID 102	45,534	57,358	\$40,384,834.28
ID 103	37,509	57,189	\$18,248,291.23
ID 104	45,145	56,391	\$19,890,931.58
ID 105	21,783	56,284	\$7,322,136.52
ID 106	46,819	56,086	\$12,810,561.97
ID 107	48,850	55,371	\$12,595,796.52
ID 108	38,999	55,085	\$11,069,056.47
ID 109	40,600	54,791	\$12,736,679.11
ID 110	11,598	54,616	\$4,652,710.53
ID 111	39,965	54,460	\$17,834,978.21
ID 112	52,654	54,409	\$21,126,608.53
ID 113	40,741	53,728	\$4,286,300.05
ID 114	34,948	53,591	\$13,675,915.81
ID 115	29,928	52,997	\$10,304,052.07
ID 116	34,079	52,994	\$13,300,299.55
ID 117	46,524	52,963	\$11,478,514.86
ID 118	26,075	52,928	\$8,305,125.75
ID 119	23,571	52,752	\$2,419,678.18
ID 120	36,888	52,625	\$23,236,052.25
ID 121	48,857	52,276	\$13,239,658.96
ID 122	35,778	51,764	\$11,952,775.95
ID 123	30,914	51,309	\$10,571,100.05
ID 124	36,580	51,261	\$19,160,264.54
ID 125	40,008	50,884	\$13,208,079.04
ID 126	45,880	50,498	\$23,688,538.23
ID 127	43,080	50,308	\$13,912,518.22
ID 128	12,836	50,239	\$16,538,545.21
ID 129	31,772	49,561	\$12,800,403.48
ID 130	38,867	49,220	\$14,786,489.45

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 131	20,250	48,723	\$6,654,016.88
ID 132	18,636	48,508	\$13,704,897.13
ID 133	22,377	48,214	\$21,143,203.76
ID 134	28,108	47,788	\$10,175,641.21
ID 135	46,435	47,483	\$11,278,212.45
ID 136	43,098	47,308	\$4,500,112.83
ID 137	44,784	47,271	\$17,850,613.56
ID 138	40,864	46,771	\$19,208,372.91
ID 139	42,852	46,692	\$18,261,597.00
ID 140	19,316	46,341	\$14,358,999.87
ID 141	17,326	45,521	\$13,722,357.86
ID 142	41,400	45,352	\$7,782,163.63
ID 143	36,880	44,367	\$15,910,494.29
ID 144	15,655	44,041	\$8,548,900.98
ID 145	19,546	43,985	\$6,149,059.23
ID 146	27,149	43,803	\$11,442,855.94
ID 147	41,053	43,607	\$12,955,772.88
ID 148	40,941	43,378	\$9,159,165.92
ID 149	22,334	43,261	\$20,314,038.57
ID 150	27,786	43,095	\$7,065,982.12
ID 151	26,052	42,576	\$6,329,909.24
ID 152	34,352	42,322	\$4,240,780.60
ID 153	27,920	42,267	\$3,065,315.30
ID 154	36,606	42,199	\$10,136,857.02
ID 155	18,235	42,016	\$8,295,042.81
ID 156	25,226	41,704	\$3,791,077.37
ID 157	30,302	41,537	\$10,407,692.89
ID 158	31,182	41,245	\$7,138,012.32
ID 159	38,623	41,097	\$17,755,722.99
ID 160	34,566	41,076	\$2,577,632.30
ID 161	36,597	40,470	\$4,117,534.53
ID 162	31,357	40,411	\$9,715,462.98
ID 163	23,036	40,297	\$9,740,049.64
ID 164	38,863	39,980	\$16,181,957.37
ID 165	30,219	39,612	\$25,053,854.35

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 166	37,683	39,609	\$11,437,360.08
ID 167	19,877	39,276	\$4,546,380.95
ID 168	30,366	38,810	\$17,225,191.62
ID 169	20,621	38,360	\$12,468,689.95
ID 170	23,080	38,350	\$5,836,700.22
ID 171	33,191	38,255	\$20,420,135.02
ID 172	19,014	38,162	\$10,253,667.47
ID 173	30,040	38,005	\$10,722,344.37
ID 174	30,677	37,904	\$9,370,764.73
ID 175	22,857	37,193	\$9,223,494.56
ID 176	30,519	37,171	\$14,781,571.30
ID 177	24,157	37,048	\$3,564,812.80
ID 178	30,109	37,023	\$12,402,910.72
ID 179	33,529	36,928	\$10,957,114.16
ID 180	30,719	36,712	\$2,967,839.02
ID 181	34,230	36,572	\$4,370,036.91
ID 182	17,795	36,489	\$2,827,145.71
ID 183	29,321	36,324	\$27,444,444.05
ID 184	29,017	36,222	\$30,009,408.12
ID 185	14,938	36,027	\$8,653,049.46
ID 186	31,977	35,568	\$9,565,565.39
ID 187	18,832	34,864	\$13,185,824.96
ID 188	31,686	34,753	\$3,490,720.06
ID 189	23,164	34,669	\$2,588,060.19
ID 190	21,783	34,661	\$9,290,316.50
ID 191	31,339	34,559	\$13,329,209.50
ID 192	24,092	34,315	\$4,756,598.38
ID 193	33,388	33,954	\$13,103,179.82
ID 194	21,830	33,859	\$11,761,633.30
ID 195	25,972	33,735	\$16,570,400.50
ID 196	15,943	33,648	\$6,060,285.24
ID 197	15,764	33,595	\$4,134,079.42
ID 198	22,522	33,503	\$5,438,028.47
ID 199	29,724	33,490	\$16,191,432.29
ID 200	10,047	33,318	\$4,842,350.81

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 201	26,478	33,012	\$7,059,722.83
ID 202	20,889	32,806	\$6,140,810.96
ID 203	30,929	32,804	\$12,810,033.61
ID 204	22,185	32,667	\$8,641,715.49
ID 205	21,552	32,648	\$7,054,543.89
ID 206	19,286	32,115	\$4,786,236.88
ID 207	15,269	32,058	\$5,702,177.18
ID 208	13,863	31,930	\$2,885,194.52
ID 209	7,543	31,925	\$3,991,944.04
ID 210	21,951	31,908	\$21,613,215.71
ID 211	30,377	31,725	\$7,919,842.55
ID 212	21,897	31,687	\$4,219,636.94
ID 213	22,712	31,485	\$8,013,062.92
ID 214	13,055	31,436	\$4,440,762.01
ID 215	21,337	31,224	\$15,829,937.40
ID 216	23,948	31,176	\$6,133,018.49
ID 217	14,846	31,068	\$15,159,867.74
ID 218	28,477	30,961	\$21,043,600.73
ID 219	30,057	30,901	\$18,263,844.02
ID 220	27,779	30,870	\$7,311,991.86
ID 221	24,978	30,810	\$5,487,620.79
ID 222	26,108	30,507	\$7,112,422.06
ID 223	20,909	30,494	\$11,885,510.54
ID 224	26,347	30,434	\$20,762,761.94
ID 225	16,652	30,432	\$10,775,548.96
ID 226	22,368	30,218	\$18,148,481.32
ID 227	29,537	30,177	\$11,736,616.49
ID 228	17,181	30,173	\$6,721,777.27
ID 229	4,231	30,166	\$3,304,260.44
ID 230	14,107	29,665	\$7,609,358.40
ID 231	17,815	29,622	\$10,638,884.40
ID 232	15,698	29,365	\$4,585,682.91
ID 233	15,634	29,194	\$7,821,410.91
ID 234	25,996	29,070	\$2,119,211.82
ID 235	21,761	28,855	\$7,342,646.11

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 236	9,616	28,841	\$17,841,111.28
ID 237	18,498	28,834	\$6,216,757.63
ID 238	9,917	28,541	\$4,738,012.10
ID 239	23,890	28,511	\$4,868,305.05
ID 240	24,768	28,407	\$3,167,139.36
ID 241	16,636	28,084	\$19,796,434.75
ID 242	23,156	28,072	\$6,756,510.57
ID 243	21,855	28,038	\$4,735,230.27
ID 244	18,794	27,896	\$4,693,694.08
ID 245	24,118	27,813	\$4,260,663.95
ID 246	18,258	27,698	\$7,445,632.38
ID 247	16,582	27,536	\$8,124,169.68
ID 248	12,943	27,441	\$5,180,963.66
ID 249	11,744	27,250	\$10,616,080.13
ID 250	20,208	27,215	\$7,846,542.97
ID 251	18,797	27,091	\$6,940,915.71
ID 252	25,702	27,074	\$6,371,468.09
ID 253	19,059	26,937	\$5,896,328.71
ID 254	22,291	26,800	\$4,206,212.61
ID 255	22,876	26,765	\$4,662,719.33
ID 256	13,214	26,666	\$11,211,452.74
ID 257	20,722	26,521	\$5,882,114.68
ID 258	20,040	26,515	\$3,089,450.37
ID 259	13,536	26,463	\$6,196,777.27
ID 260	13,635	26,276	\$9,806,836.65
ID 261	25,057	26,173	\$5,934,455.34
ID 262	20,615	26,042	\$7,103,864.56
ID 263	22,921	25,798	\$14,878,936.27
ID 264	21,736	25,752	\$7,054,919.06
ID 265	18,313	25,704	\$12,315,479.86
ID 266	20,259	25,686	\$5,760,734.05
ID 267	20,062	25,599	\$8,143,695.12
ID 268	11,811	25,590	\$4,924,037.00
ID 269	20,655	25,562	\$28,983,242.52
ID 270	14,695	25,554	\$10,558,288.00

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 271	23,661	25,413	\$28,187,625.37
ID 272	12,300	25,379	\$2,702,718.00
ID 273	21,033	25,348	\$3,685,051.67
ID 274	10,022	25,134	\$3,105,284.31
ID 275	18,045	25,124	\$2,932,103.70
ID 276	16,744	25,063	\$5,390,790.98
ID 277	14,225	25,043	\$5,238,573.14
ID 278	17,406	25,015	\$6,574,048.88
ID 279	17,204	24,995	\$18,860,563.26
ID 280	21,240	24,916	\$9,337,763.21
ID 281	11,629	24,892	\$4,669,627.21
ID 282	21,464	24,777	\$4,419,533.13
ID 283	7,064	24,726	\$3,858,663.95
ID 284	9,854	24,707	\$6,029,214.72
ID 285	12,752	24,640	\$14,406,587.64
ID 286	24,155	24,508	\$6,117,012.22
ID 287	18,929	24,346	\$3,753,866.51
ID 288	3,756	24,264	\$4,929,655.94
ID 289	7,541	24,127	\$2,047,717.25
ID 290	7,806	23,989	\$2,388,582.00
ID 291	10,236	23,960	\$6,693,244.90
ID 292	17,847	23,773	\$2,341,454.94
ID 293	18,378	23,703	\$5,718,563.91
ID 294	10,234	23,691	\$3,705,463.05
ID 295	17,066	23,669	\$3,378,301.19
ID 296	16,913	23,629	\$3,506,425.11
ID 297	19,528	23,407	\$7,048,636.16
ID 298	17,470	23,381	\$7,625,340.81
ID 299	17,446	23,345	\$12,016,426.29
ID 300	18,453	23,329	\$4,083,907.17
ID 301	21,276	23,248	\$20,314,079.44
ID 302	18,762	23,192	\$3,349,951.64
ID 303	17,113	22,904	\$5,557,062.52
ID 304	12,863	22,833	\$6,402,165.07
ID 305	15,354	22,825	\$6,877,879.88

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 306	19,151	22,622	\$6,541,897.51
ID 307	17,837	22,366	\$3,976,066.91
ID 308	6,945	22,216	\$6,555,542.96
ID 309	21,331	22,196	\$4,268,998.61
ID 310	20,359	22,095	\$14,328,695.75
ID 311	7,823	21,647	\$16,141,775.35
ID 312	19,016	21,559	\$4,195,417.60
ID 313	8,320	21,539	\$6,676,708.98
ID 314	19,182	21,503	\$25,850,463.47
ID 315	18,042	21,496	\$3,032,698.92
ID 316	18,779	21,216	\$4,883,954.31
ID 317	18,191	21,164	\$4,668,444.74
ID 318	19,578	20,793	\$13,133,170.94
ID 319	14,305	20,782	\$10,169,691.31
ID 320	11,271	20,779	\$12,123,891.08
ID 321	18,336	20,776	\$2,936,146.19
ID 322	19,864	20,729	\$2,118,643.81
ID 323	16,539	20,526	\$4,494,196.65
ID 324	16,782	20,414	\$4,992,364.42
ID 325	16,510	20,186	\$4,092,491.27
ID 326	11,634	20,150	\$6,507,435.97
ID 327	18,788	19,954	\$1,992,162.14
ID 328	12,939	19,726	\$10,988,009.03
ID 329	9,917	19,699	\$10,256,342.86
ID 330	17,283	19,627	\$5,147,262.65
ID 331	18,423	19,626	\$10,394,190.50
ID 332	18,454	19,430	\$14,637,119.45
ID 333	18,193	19,199	\$1,973,155.76
ID 334	14,260	19,094	\$7,123,794.70
ID 335	14,246	19,064	\$28,066,669.92
ID 336	14,473	18,703	\$8,089,139.11
ID 337	18,139	18,505	\$7,218,264.86
ID 338	17,194	18,213	\$6,395,659.02
ID 339	14,911	18,110	\$12,118,144.36
ID 340	11,166	17,767	\$6,937,648.21

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 341	6,580	17,587	\$7,459,777.30
ID 342	16,948	17,456	\$4,983,601.45
ID 343	13,956	17,170	\$13,352,556.54
ID 344	15,524	17,012	\$8,696,397.11
ID 345	9,900	16,991	\$10,739,369.64
ID 346	9,345	16,827	\$7,204,990.84
ID 347	13,678	16,766	\$7,169,603.48
ID 348	14,857	15,673	\$14,994,529.79
ID 349	12,894	15,630	\$7,537,755.30
ID 350	8,925	15,582	\$9,556,936.36
ID 351	12,735	15,405	\$6,569,066.34
ID 352	12,588	15,189	\$8,194,205.70
ID 353	9,848	14,821	\$8,376,176.00
ID 354	7,752	14,463	\$7,449,199.80
ID 355	13,475	14,276	\$7,302,620.72
ID 356	12,253	13,892	\$11,035,803.15
ID 357	11,088	13,833	\$6,494,670.54
ID 358	12,728	13,690	\$10,799,280.71
ID 359	12,970	13,551	\$7,342,072.24
ID 360	6,435	13,489	\$19,273,066.90
ID 361	8,232	13,238	\$8,572,810.18
ID 362	10,677	13,047	\$8,666,183.85
ID 363	9,773	12,984	\$16,167,246.58

Número de producto	Cajas surtidas	Cajas solicitadas	Monto
ID 364	7,556	12,858	\$7,038,536.69
ID 365	11,163	12,689	\$7,560,746.90
ID 366	10,341	12,660	\$7,353,200.00
ID 367	8,187	12,516	\$16,389,449.30
ID 368	7,060	12,476	\$7,280,028.53
ID 369	9,837	12,047	\$7,362,401.10
ID 370	10,731	11,921	\$7,932,869.08
ID 371	7,938	11,502	\$6,442,218.32
ID 372	11,043	11,356	\$8,274,598.95
ID 373	4,862	10,687	\$12,837,233.76
ID 374	8,491	10,414	\$8,078,551.53
ID 375	10,182	10,386	\$8,286,556.16
ID 376	9,939	10,113	\$6,773,478.85
ID 377	7,985	9,809	\$7,619,173.05
ID 378	8,732	9,421	\$10,519,745.05
ID 379	6,608	9,024	\$8,986,611.79
ID 380	7,009	8,780	\$6,843,971.50
ID 381	6,695	8,731	\$6,459,335.28
ID 382	6,517	8,602	\$11,543,280.95
ID 383	8,059	8,269	\$6,634,285.97
ID 384	7,892	8,239	\$9,000,282.29
ID 385	6,349	7,546	\$8,035,342.74

**Anexo 2.** Método de pronósticos e indicador MAPE obtenidos para cada uno de los IDs de producto.

ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 3	8.6922	Descomposición
ID 5	12.2874	Método de Winters
ID 8	9.1345	Descomposición
ID 10	12.567	Descomposición
ID 12	8.31561	Descomposición
ID 13	10.5382789	Descomposición
ID 14	8.49503442	Descomposición
ID 18	11.1213	Descomposición
ID 19	10.0715	Descomposición
ID 20	5.14115	Descomposición
ID 22	8.9705	Descomposición
ID 24	8.17371	Descomposición
ID 30	10.9558	Descomposición
ID 31	12.2059	Descomposición
ID 32	8.19999	Descomposición
ID 41	12.58	Descomposición
ID 44	9.24927	Descomposición
ID 48	6.63632	Descomposición
ID 51	8.90456	Descomposición
ID 53	6.80068	Descomposición
ID 56	5.83815	Descomposición
ID 57	8.05782	Descomposición
ID 59	7.60371	Descomposición
ID 60	10.2792	Descomposición
ID 62	6.52458	Descomposición
ID 63	6.4232	Descomposición
ID 65	7.57025	Descomposición
ID 67	5.16904	Descomposición
ID 71	7.66218	Descomposición
ID 72	6.16372	Descomposición
ID 73	8.46797	Descomposición
ID 74	11.15	Descomposición
ID 76	11.255	Descomposición
ID 77	8.80716	Descomposición
ID 78	0.703851	Descomposición
ID 81	8.07709	Descomposición
ID 82	4.58185	Descomposición

ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 83	12.5152	Descomposición
ID 84	5.75465	Descomposición
ID 88	9.12961	Descomposición
ID 90	4.92868	Descomposición
ID 91	6.14116	Descomposición
ID 92	9.50509	Descomposición
ID 93	6.70357	Descomposición
ID 95	5.824	Descomposición
ID 98	11.428	Descomposición
ID 99	6.92712	Descomposición
ID 101	8.7591	Descomposición
ID 102	9.16269	Descomposición
ID 103	11.1883	Método de Winters
ID 106	6.34132	Método de Winters
ID 108	4.8595	Descomposición
ID 110	9.95025	Descomposición
ID 115	10.7367	Descomposición
ID 117	8.83345	Descomposición
ID 118	9.04841	Descomposición
ID 119	2.25644	Descomposición
ID 120	3.25517	Descomposición
ID 121	9.04036	Descomposición
ID 122	5.30287	Descomposición
ID 123	5.30287	Descomposición
ID 125	8.04198	Descomposición
ID 126	0.854379	Descomposición
ID 130	6.08999	Descomposición
ID 131	9.79878	Descomposición
ID 134	11.2851	Descomposición
ID 135	9.6167	Descomposición
ID 136	7.01908	Descomposición
ID 139	6.56716	Descomposición
ID 140	6.96566	Descomposición
ID 142	9.17112	Descomposición
ID 143	11.9669	Descomposición
ID 144	7.5145	Descomposición
ID 145	11.2107	Descomposición

ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 146	6.28217	Método de Winters
ID 147	7.18747	Descomposición
ID 149	6.68232	Descomposición
ID 153	7.6791	Descomposición
ID 155	5.40318	Descomposición
ID 156	10.3504	Descomposición
ID 157	10.86984	Descomposición
ID 159	7.38083	Descomposición
ID 160	9.0389	Método de Winters
ID 161	0.727179	Descomposición
ID 162	12.0554	Descomposición
ID 164	14.908	Descomposición
ID 165	11.06268	Método de Winters
ID 166	1.08412	Descomposición
ID 170	7.56621	Descomposición
ID 171	12.0803	Descomposición
ID 172	8.78514	Descomposición
ID 173	7.0488	Descomposición
ID 175	10.21055	Descomposición
ID 176	10.7551	Descomposición
ID 177	12.12	Descomposición
ID 178	10.38422	Descomposición
ID 180	5.48015	Descomposición
ID 181	8.39228	Descomposición
ID 183	7.86525	Descomposición
ID 184	11.3613	Descomposición
ID 185	4.8573	Descomposición
ID 186	9.00251	Descomposición
ID 187	7.8597	Descomposición
ID 189	11.0586	Descomposición
ID 191	9.95485	Descomposición
ID 194	7.55168	Descomposición
ID 195	12.0244	Descomposición
ID 196	5.81255	Descomposición
ID 197	7.82616	Descomposición
ID 198	4.572	Descomposición
ID 199	8.18658	Descomposición
ID 201	7.74765	Descomposición
ID 202	9.4576	Descomposición
ID 203	11.3197	Descomposición
ID 204	10.0127	Método de Winters

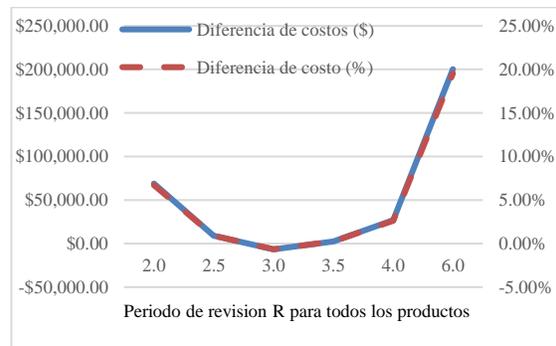
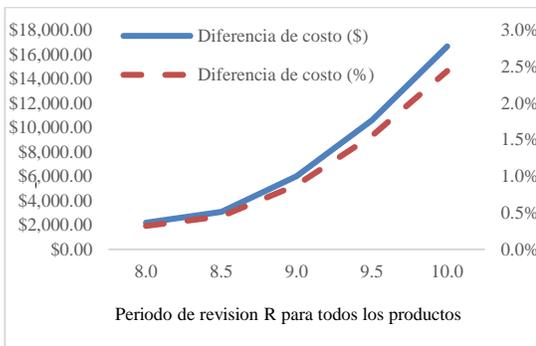
ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 205	12.1194	Descomposición
ID 206	6.10072	Descomposición
ID 208	9.1491	Descomposición
ID 209	6.44208	Descomposición
ID 211	7.68606	Método de Winters
ID 212	5.10789	Descomposición
ID 213	8.81741	Descomposición
ID 216	7.43728	Descomposición
ID 218	1.23042	Descomposición
ID 219	7.54332	Método de Winters
ID 220	8.04135	Descomposición
ID 221	6.39856	Descomposición
ID 222	9.90066	Método de Winters
ID 224	12.1878	Descomposición
ID 226	7.15792	Descomposición
ID 227	6.61928	Descomposición
ID 228	8.17789	Descomposición
ID 230	8.29787	Descomposición
ID 231	5.82786	Descomposición
ID 232	9.00081	Descomposición
ID 233	8.49666	Método de Winters
ID 238	9.77557	Descomposición
ID 239	10.5	Método de Winters
ID 240	8.5617	Descomposición
ID 241	9.0299	Método de Winters
ID 242	9.5032	Descomposición
ID 245	8.0844	Descomposición
ID 247	9.4263	Descomposición
ID 248	7.7141	Descomposición
ID 249	10.44252	Método de Winters
ID 250	8.14458	Método de Winters
ID 252	10.02302	Descomposición
ID 255	8.05675	Descomposición
ID 256	9.77162	Descomposición
ID 257	7.8526	Método de Winters
ID 259	6.87359	Método de Winters
ID 260	5.61553	Descomposición
ID 263	7.33343	Descomposición
ID 264	5.60557	Descomposición
ID 265	8.95415	Método de Winters
ID 266	11.4003	Descomposición

ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 269	8.5321	Descomposición
ID 274	12.05418	Descomposición
ID 275	8.58961	Método de Winters
ID 277	8.8143	Descomposición
ID 279	6.32632	Descomposición
ID 280	5.99525	Descomposición
ID 281	7.3192	Descomposición
ID 282	9.63443	Método de Winters
ID 283	7.57903	Método de Winters
ID 284	9.79468	Método de Winters
ID 286	11.97696	Descomposición
ID 287	6.84436	Método de Winters
ID 291	6.14732	Método de Winters
ID 293	10.4432	Método de Winters
ID 294	10.7712	Descomposición
ID 295	9.59802	Descomposición
ID 296	11.6904	Método de Winters
ID 297	7.28079	Descomposición
ID 300	9.91697	Método de Winters
ID 305	8.92776	Método de Winters
ID 308	11.2432	Método de Winters
ID 311	9.2966	Descomposición
ID 312	8.88018	Descomposición
ID 313	10.03092	Descomposición
ID 318	9.09546	Método de Winters
ID 320	8.5065	Descomposición
ID 321	10.66068	Descomposición
ID 326	7.30214	Descomposición

ID producto	MAPE	Método de pronósticos
ID 327	1.3385	Descomposición
ID 332	9.21252	Descomposición
ID 336	8.74158	Descomposición
ID 337	9.87018	Descomposición
ID 338	8.1329	Descomposición
ID 340	8.90886	Descomposición
ID 341	8.85514	Descomposición
ID 342	8.61042	Descomposición
ID 344	8.23412	Descomposición
ID 345	7.41517	Descomposición
ID 347	11.9676	Descomposición
ID 355	10.5624	Descomposición
ID 357	11.4074	Descomposición
ID 360	7.89848	Método de Winters
ID 361	9.74778	Descomposición
ID 362	7.4714	Método de Winters
ID 363	9.30605	Método de Winters
ID 364	6.72588	Método de Winters
ID 368	8.58915	Descomposición
ID 372	8.51375	Descomposición
ID 373	11.8117	Descomposición
ID 374	7.55551	Descomposición
ID 377	6.01836	Descomposición
ID 378	8.2934	Descomposición
ID 379	8.70503	Descomposición
ID 380	6.36766	Descomposición
ID 381	8.27735	Descomposición

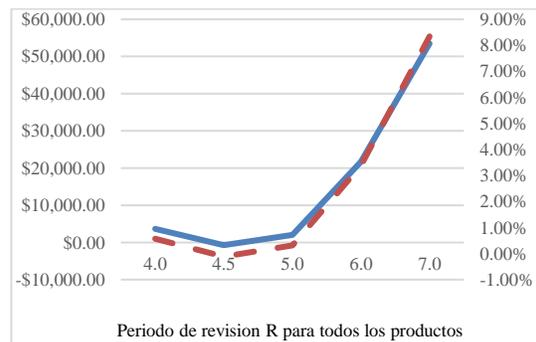
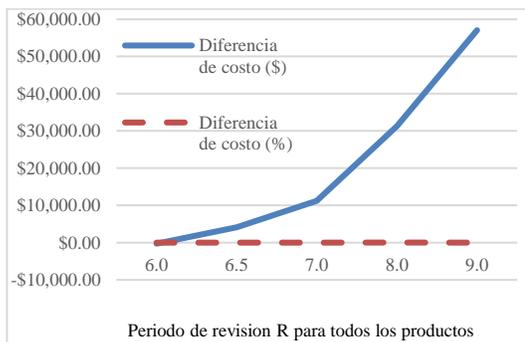
**Anexo 3.** Análisis de sensibilidad en periodos de revisión para los proveedores seleccionados.

En este anexo se muestran los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad por proveedor en el periodo de revisión R para la política de envíos consolidados aplicada a datos del 2020. R está dado en semanas. En cada una de las gráficas se hace referencia a la diferencia en costo anual total con respecto al modelo de envíos consolidados sin R homogénea para todos los IDs del proveedor. Esta diferencia está dada en porcentaje y en pesos.



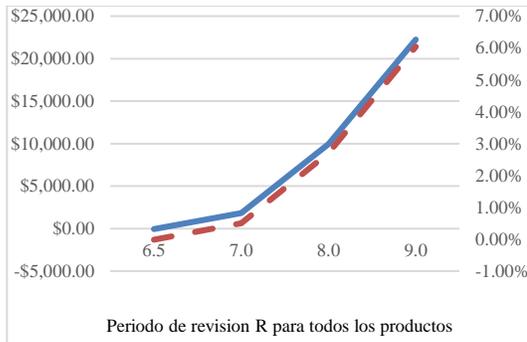
Proveedor A01. Fuente: elaboración propia.

Proveedor B02. Fuente: elaboración propia.

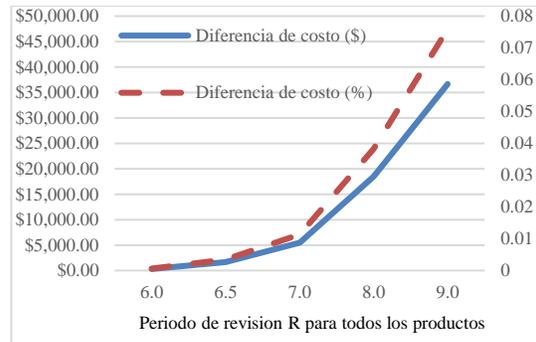


Proveedor C03. Fuente: elaboración propia.

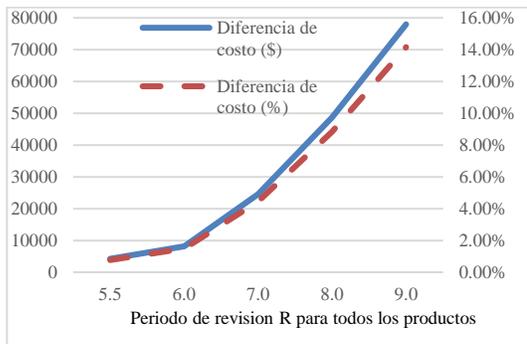
Proveedor D04 (Origen A) . Fuente: elaboración propia.



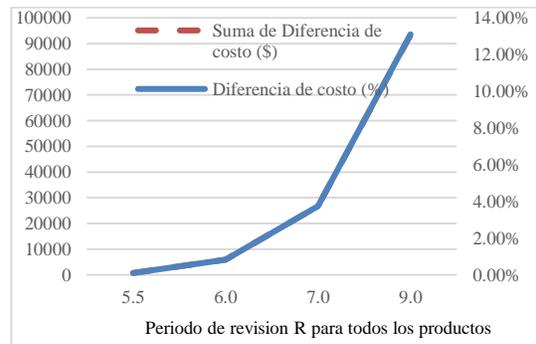
Proveedor D04 (Origen B) . Fuente: elaboración propia.



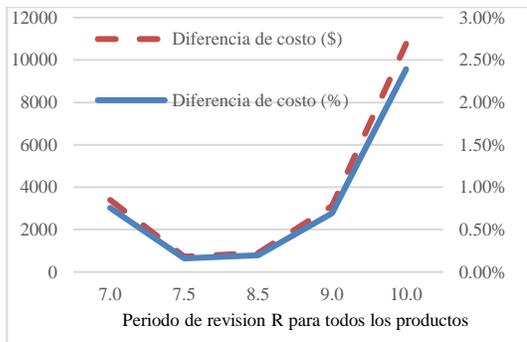
Proveedor E05. Fuente: elaboración propia.



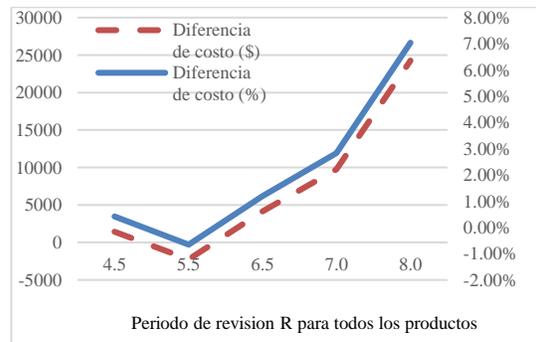
Proveedor F06. Fuente: elaboración propia.



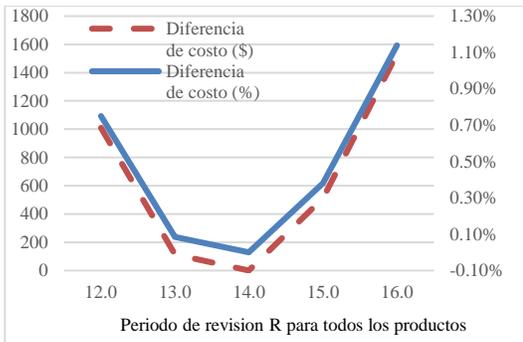
Proveedor G07. Fuente: elaboración propia.



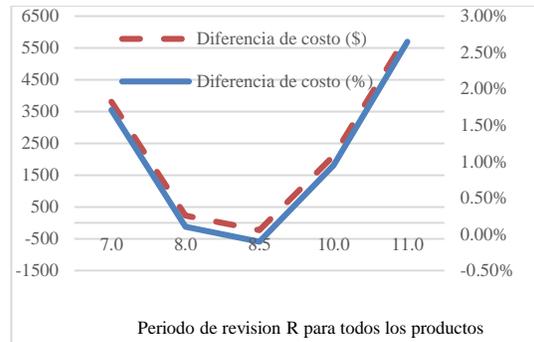
Proveedor H08. Fuente: elaboración propia.



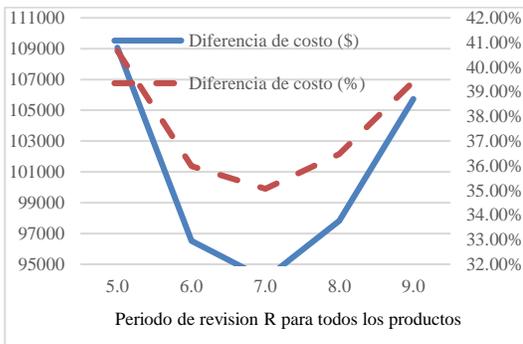
Proveedor I09. Fuente: elaboración propia.



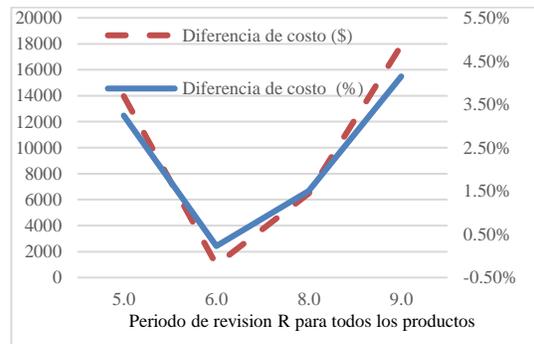
Proveedor J10 (Origen A) . Fuente:  
elaboración propia.



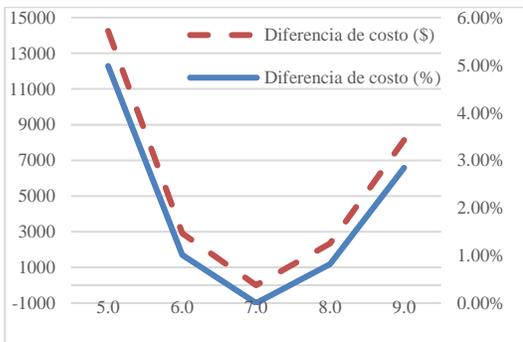
Proveedor J10 (Origen B) . Fuente:  
elaboración propia.



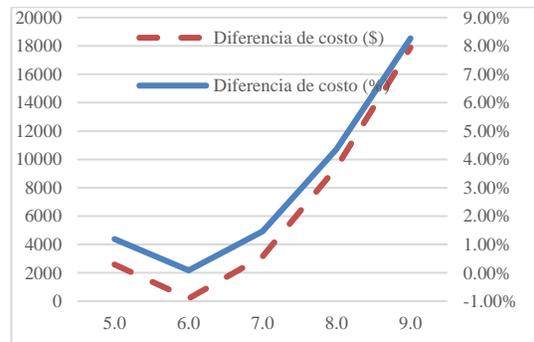
Proveedor K11. Fuente: elaboración propia.



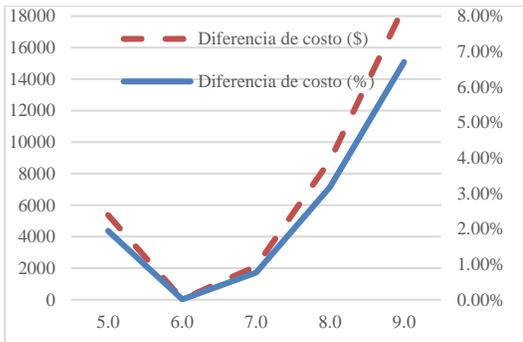
Proveedor L12. Fuente: elaboración propia.



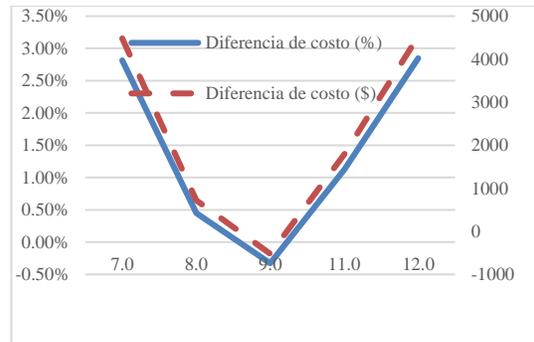
Proveedor M13. Fuente: elaboración propia.



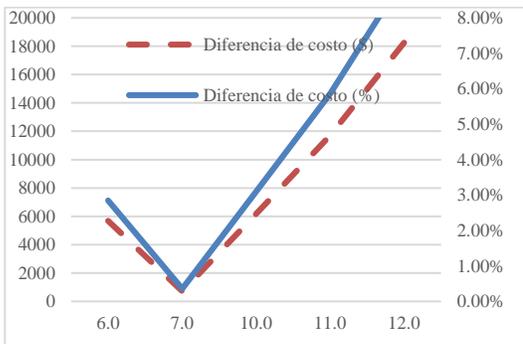
Proveedor N14. Fuente: elaboración propia.



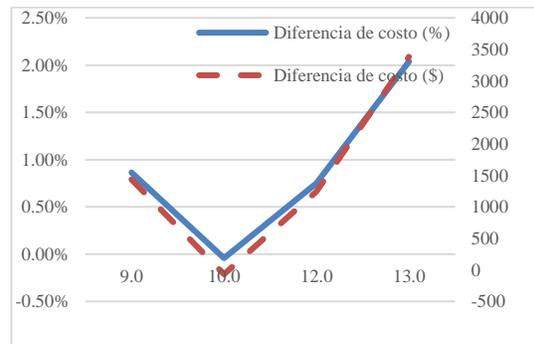
Proveedor O15. Fuente: elaboración propia.



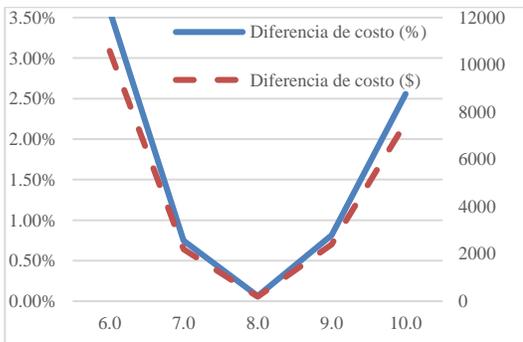
Proveedor P16. Fuente: elaboración propia.



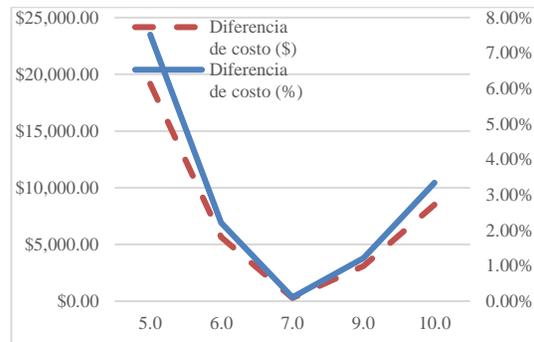
Proveedor Q17. Fuente: elaboración propia.



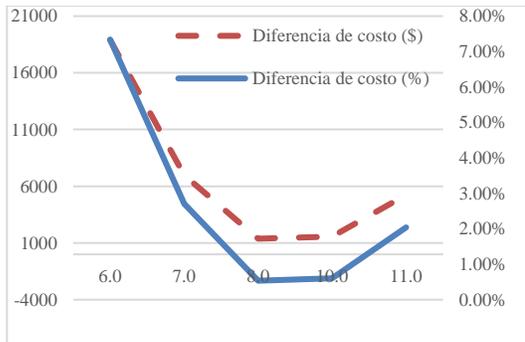
Proveedor R18. Fuente: elaboración propia.



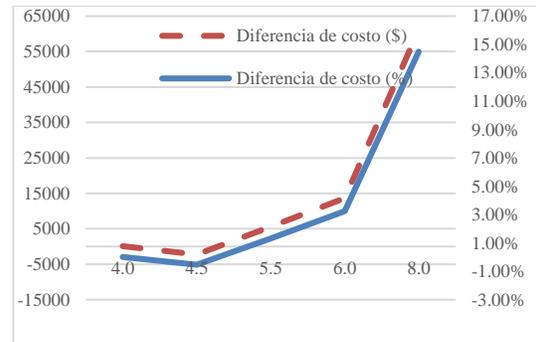
Proveedor S19. Fuente: elaboración propia.



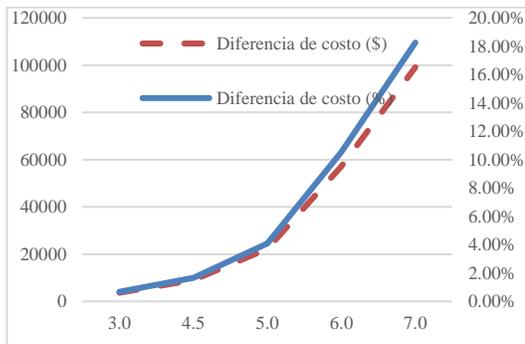
Proveedor T20. Fuente: elaboración propia.



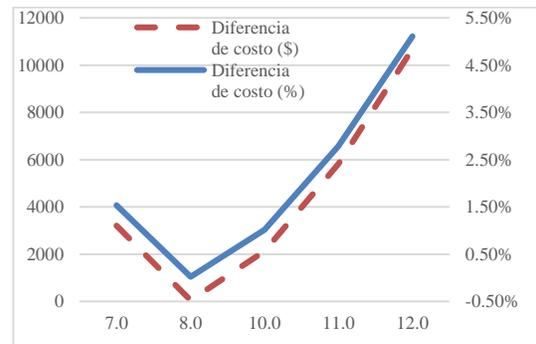
Proveedor U21. Fuente: elaboración propia.



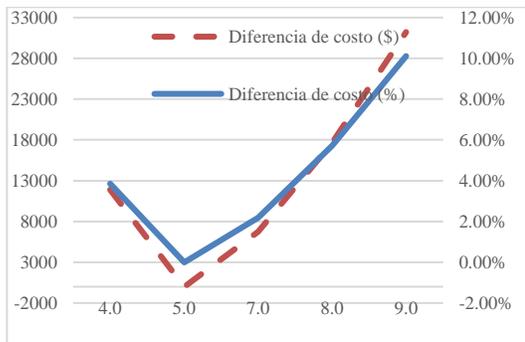
Proveedor V22. Fuente: elaboración propia.



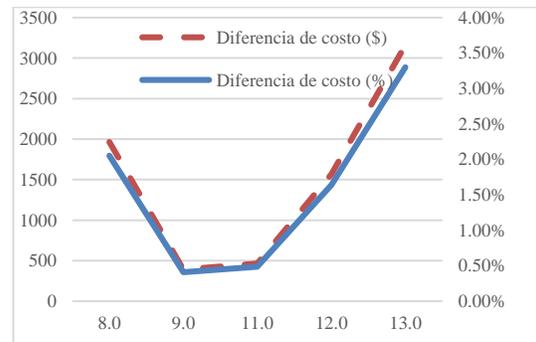
Proveedor W23. Fuente: elaboración propia.



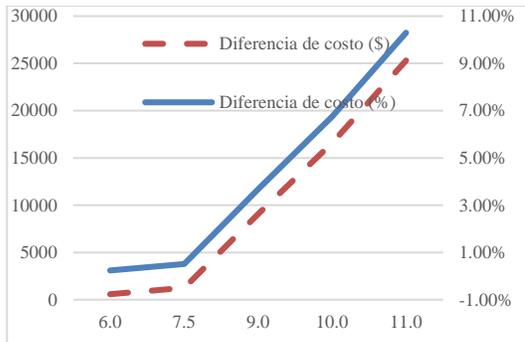
Proveedor X24. Fuente: elaboración propia.



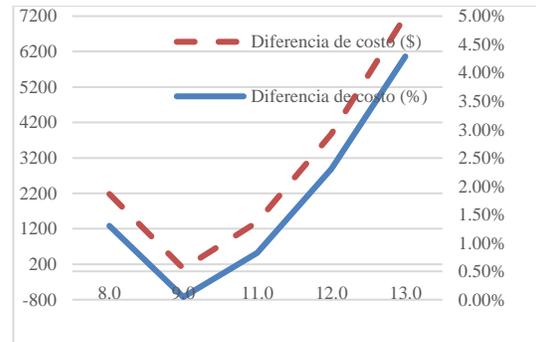
Proveedor Y25. Fuente: elaboración propia.



Proveedor Z26. Fuente: elaboración propia.



Proveedor A27. Fuente: elaboración propia.



Proveedor G28. Fuente: elaboración propia.

**Anexo 4.** Resultados generales del modelo de envíos consolidados para pronósticos calculados de todos los productos por proveedor. Fuente: elaboración propia.

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>A01</b>	122	\$176,805.30	4,935.5
	145	\$71,038.28	1,398.5
	160	\$53,719.17	2,498.3
	170	\$36,175.74	2,826.0
	186	\$18,695.45	4,091.0
	203	\$26,725.02	1,817.8
	204	\$40,436.39	2,239.8
	227	\$36,936.73	1,187.7
	239	\$52,793.77	2,328.8
	250	\$31,834.49	1,419.7
	282	\$17,515.47	867.5
	287	\$14,142.89	698.2
	308	\$29,956.28	1,303.7
	318	\$20,913.30	876.8
	372	\$45,877.85	701.2
	373	\$35,291.83	779.6
	374	\$25,853.47	931.3
380	\$21,522.38	760.9	
<b>A27</b>	221	\$222,457.33	1,533.5
	286	\$21,741.45	756.8
<b>B02</b>	12	\$161,512.96	3,094.3
	62	\$134,470.70	1,228.7
	65	\$211,872.00	1,567.8
	84	\$173,716.85	1,804.0
	120	\$52,336.45	1,006.1
	162	\$28,760.70	1,272.7
	189	\$24,652.23	1,016.2
	206	\$33,558.57	1,123.6
	218	\$36,346.38	881.2
	294	\$23,942.62	916.3
	300	\$36,862.44	1,455.6
	320	\$24,378.30	596.9
	341	\$37,232.52	562.1
	344	\$32,981.10	624.2
	377	\$26,001.54	625.4
	379	\$25,446.56	414.4

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>B28</b>	197	\$131,042.20	1,799.8
	240	\$28,615.77	1,183.2
<b>C03</b>	32	\$114,510.64	3,276.2
	76	\$73,744.28	3,106.7
	81	\$48,904.90	2,139.4
	173	\$68,991.37	1,216.2
	176	\$26,439.82	1,033.7
	220	\$28,361.33	1,193.4
	247	\$27,822.34	1,133.6
	281	\$25,484.01	980.8
<b>C29</b>	284	\$75,515.12	1,147.5
	332	\$87,744.26	903.1
	357	\$42,422.86	375.9
	91	\$364,580.89	7,050.4
<b>D04</b>	361	\$36,000.43	552.6
	5	\$418,366.57	4,578.8
<b>E05</b>	18	\$92,431.35	1,245.3
	71	\$155,701.56	716.9
	90	\$150,470.22	519.1
	101	\$57,371.91	381.0
	115	\$66,757.31	521.0
	212	\$38,787.43	586.1
	219	\$45,458.04	785.7
	232	\$84,441.03	317.0
<b>E05</b>	269	\$39,061.70	202.4
	311	\$25,377.80	91.7
	56	\$54,137.85	2,494.6
	67	\$163,072.69	4,060.3
	78	\$35,143.56	2,109.0
	82	\$40,961.16	1,535.4
	98	\$31,576.92	1,745.8
	99	\$49,649.98	1,399.6
	126	\$17,278.40	1,345.1
	180	\$22,987.10	852.2
<b>E05</b>	196	\$112,020.61	2,236.5
	279	\$22,856.62	731.0

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>F06</b>	60	\$38,818.54	3,788.1
	119	\$21,074.18	1,382.3
	185	\$139,093.94	873.4
	231	\$14,960.82	917.7
	327	\$131,336.51	689.2
	337	\$50,996.25	258.0
	338	\$36,634.02	308.7
	340	\$39,179.55	322.5
	347	\$29,026.90	162.9
	378	\$30,795.03	217.4
<b>G07</b>	30	\$179,190.49	3,806.6
	41	\$148,041.66	3,292.1
	57	\$129,296.13	2,575.1
	83	\$64,587.03	1,432.7
	135	\$53,616.33	1,323.8
	205	\$52,027.90	720.3
	241	\$108,156.96	1,991.9
	277	\$37,067.98	1,168.7
	363	\$126,400.52	1,405.9
<b>H08</b>	166	\$139,704.51	6,379.7
	291	\$112,760.06	2,761.9
	296	\$115,610.81	6,137.9
	313	\$33,440.12	1,424.6
	321	\$75,811.29	1,118.8
	336	\$72,739.41	1,066.0
	368	\$43,811.69	628.5
<b>I09</b>	95	\$135,914.57	3,159.5
	121	\$38,538.21	1,348.1
	222	\$56,558.92	1,298.3
	257	\$18,643.69	589.3
	283	\$75,059.35	1,687.9
	312	\$81,786.81	1,642.6
<b>J10</b>	44	\$110,983.13	7,988.8
	103	\$229,992.51	8,387.7
	178	\$27,485.09	2,178.6
	183	\$41,426.28	2,166.3
	226	\$46,992.17	3,370.4
	233	\$24,617.41	1,684.2
<b>K11</b>	74	\$93,919.51	2,496.2
	88	\$100,960.62	3,250.4

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>K11</b>	201	\$52,082.91	1,639.3
	242	\$33,548.76	2,142.9
	364	\$85,848.69	1,090.6
<b>L12</b>	51	\$104,983.40	3,176.0
	117	\$67,092.86	1,757.3
	149	\$107,623.03	1,681.1
	202	\$98,688.43	1,426.2
	355	\$37,087.39	838.2
<b>M13</b>	130	\$77,676.14	1,355.0
	140	\$125,123.30	2,346.8
	156	\$72,512.93	1,344.2
	209	\$33,879.84	887.5
<b>N14</b>	131	\$93,506.80	1,449.2
	136	\$9,744.52	983.9
	191	\$57,781.36	849.8
	360	\$61,621.54	832.1
<b>O15</b>	10	\$182,445.36	8,536.2
	164	\$68,963.06	3,825.5
	260	\$20,543.94	697.5
	263	\$18,393.56	1,164.5
<b>P16</b>	139	\$58,147.56	3,060.5
	177	\$26,056.17	1,322.5
	181	\$28,638.92	1,599.0
	199	\$34,774.20	1,808.0
<b>Q17</b>	22	\$125,988.15	5,332.3
	63	\$35,743.37	3,032.0
	93	\$18,494.79	2,084.9
	265	\$29,036.56	1,778.4
<b>R18</b>	59	\$55,721.44	4,319.4
	73	\$53,015.37	7,827.0
	245	\$64,218.66	3,958.9
	295	\$24,688.00	2,115.1
<b>S19</b>	3	\$206,413.81	14,549.0
	92	\$41,354.93	3,020.9
	125	\$23,703.42	1,863.7
	264	\$17,314.10	1,426.6
<b>T20</b>	134	\$40,650.86	2,666.5
	144	\$82,064.26	3,551.1
	198	\$106,646.77	2,482.9
	230	\$22,307.42	2,075.0

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>U21</b>	14	\$157,047.79	12,012.2
	24	\$92,390.49	7,096.6
	175	\$24,904.32	2,248.0
<b>V22</b>	8	\$396,124.21	8,219.9
	165	\$16,243.18	616.6
	305	\$26,191.33	971.9
<b>W23</b>	53	\$132,917.70	1,978.1
	106	\$652,045.06	10,826.3
	159	\$98,560.14	1,129.2

Proveedor	ID de producto	Costo anual total	Nivel promedio de inventario
<b>X24</b>	123	\$113,952.18	4,357.3
	228	\$50,651.69	1,655.7
	266	\$64,038.42	1,831.9
<b>Y25</b>	157	\$120,865.93	1,268.6
	213	\$97,123.72	1,607.8
	274	\$86,658.10	926.4
<b>Z26</b>	293	\$46,379.37	668.8
	362	\$50,526.59	430.8
<b>Total general</b>		<b>\$12,806,398.22</b>	<b>2,135.1</b>

**Anexo 5.** Resultados generales, estimación de condiciones reales con política actual vs modelo envíos consolidados vs modelo envíos consolidados con R homogénea para todos los productos seleccionados por proveedor. Fuente: elaboración propia.

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020, estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados	Diferencia envíos consolidados con respecto a estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a estimación
<b>A01</b>	122	\$189,871.52	\$138,622.35	37.0 %	\$93,942.55	102.1 %
	145	\$204,902.73	\$77,118.76	165.7 %	\$58,520.56	250.1 %
	160	\$56,475.69	\$37,115.47	52.2 %	\$38,168.69	48.0 %
	170	\$56,017.31	\$40,955.92	36.8 %	\$40,888.64	37.0 %
	186	\$27,749.26	\$16,587.86	67.3 %	\$23,999.19	15.6 %
	203	\$33,232.02	\$24,723.82	34.4 %	\$31,043.27	7.1 %
	204	\$16,198.27	\$19,269.25	-15.9 %	\$26,090.87	-37.9 %
	227	\$89,185.90	\$32,880.20	171.2 %	\$35,192.15	153.4 %
	239	\$33,286.85	\$25,745.74	29.3 %	\$32,065.19	3.8 %
	250	\$32,378.84	\$23,497.26	37.8 %	\$29,816.70	8.6 %
	282	\$44,591.77	\$20,940.53	112.9 %	\$27,483.92	62.2 %
	287	\$56,385.96	\$19,981.13	182.2 %	\$26,671.52	111.4 %
	308	\$34,127.37	\$29,243.43	16.7 %	\$33,701.26	1.3 %
	318	\$23,326.45	\$25,090.30	-7.0 %	\$31,409.75	-25.7 %
	372	\$125,110.55	\$59,943.31	108.7 %	\$52,448.73	138.5 %
	373	\$54,574.95	\$39,593.91	37.8 %	\$40,124.38	36.0 %
374	\$49,042.90	\$26,750.89	83.3 %	\$32,556.49	50.6 %	
380	\$26,493.47	\$24,608.40	7.7 %	\$30,733.65	-13.8 %	
<b>A27</b>	221	\$287,538.35	\$219,323.95	31.1 %	\$176,652.45	62.8 %
	286	\$168,707.73	\$26,420.56	538.5 %	\$69,673.29	142.1 %
<b>B02</b>	12	\$1,556,819.84	\$200,384.94	676.9 %	\$156,951.02	891.9 %
	62	\$2,345,133.84	\$128,471.35	1725.4 %	\$105,954.36	2113.3 %
	65	\$1,418,221.36	\$214,610.99	560.8 %	\$166,612.15	751.2 %
	84	\$474,927.94	\$145,889.04	225.5 %	\$120,934.78	292.7 %
	120	\$305,856.86	\$54,038.81	466.0 %	\$63,610.61	380.8 %
	162	\$34,352.37	\$30,016.77	14.4 %	\$41,780.44	-17.8 %
	189	\$32,247.33	\$26,206.46	23.1 %	\$38,709.30	-16.7 %
	206	\$39,243.14	\$32,011.19	22.6 %	\$43,321.17	-9.4 %
	218	\$24,683.40	\$40,019.47	-38.3 %	\$49,331.68	-50.0 %

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020, estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados	Diferencia envíos consolidados con respecto a estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a estimación
	294	\$24,534.12	\$25,444.68	-3.6 %	\$37,731.97	-35.0 %
	300	\$18,229.48	\$30,419.55	-40.1 %	\$42,041.15	-56.6 %
	320	\$29,332.07	\$28,060.23	4.5 %	\$40,224.49	-27.1 %
	341	\$35,831.53	\$35,846.52	-0.0 %	\$46,328.01	-22.7 %
	344	\$129,362.61	\$34,679.18	273.0 %	\$45,716.71	183.0 %
	377	\$25,306.36	\$27,040.57	-6.4 %	\$39,316.58	-35.6 %
	379	\$40,493.92	\$26,899.34	50.5 %	\$39,308.86	3.0 %
<b>B28</b>	197	\$223,574.29	\$137,920.66	62.1 %	\$111,421.15	100.7 %
	240	\$64,811.55	\$29,997.84	116.1 %	\$56,574.83	14.6 %
<b>C03</b>	32	\$405,019.40	\$148,288.38	173.1 %	\$112,486.09	260.1 %
	76	\$699,857.76	\$58,439.24	1097.6 %	\$57,575.20	1115.6 %
	81	\$108,913.22	\$49,351.90	120.7 %	\$53,113.94	105.1 %
	173	\$116,744.87	\$69,695.79	67.5 %	\$63,927.41	82.6 %
	176	\$336,044.34	\$35,446.35	848.0 %	\$46,369.56	624.7 %
	220	\$117,246.87	\$26,806.48	337.4 %	\$37,836.79	209.9 %
	247	\$292,422.79	\$29,974.71	875.6 %	\$41,005.01	613.1 %
	281	\$40,336.83	\$25,119.95	60.6 %	\$35,766.63	12.8 %
	284	\$98,673.33	\$87,638.14	12.6 %	\$75,745.58	30.3 %
	332	\$123,101.97	\$63,083.02	95.1 %	\$62,450.26	97.1 %
	357	\$255,670.71	\$44,290.27	477.3 %	\$51,474.03	396.7 %
<b>C29</b>	91	\$172,287.46	\$253,170.25	-31.9 %	\$201,330.61	-14.4 %
	361	\$34,980.02	\$40,740.75	-14.1 %	\$97,576.18	-64.2 %
<b>D04 Origen A</b>	5	\$2,298,693.53	\$252,279.14	811.2 %	\$172,362.03	1233.6 %
	18	\$63,910.48	\$124,836.01	-48.8 %	\$105,362.47	-39.3 %
	101	\$374,875.55	\$67,562.28	454.9 %	\$76,467.54	390.2 %
	115	\$150,200.79	\$77,435.57	94.0 %	\$81,694.12	83.9 %
	212	\$61,617.53	\$30,861.85	99.7 %	\$54,861.59	12.3 %
	219	\$49,316.33	\$36,292.56	35.9 %	\$59,207.71	-16.7 %
	269	\$123,409.86	\$49,480.42	149.4 %	\$67,457.27	82.9 %
	311	\$35,831.14	\$29,447.62	21.7 %	\$53,755.85	-33.3 %
<b>D04 Origen B</b>	71	\$384,361.61	\$156,652.41	145.4 %	\$145,238.81	164.6 %
	90	\$549,543.72	\$152,477.27	260.4 %	\$142,353.56	286.0 %
	232	\$130,878.78	\$69,949.49	87.1 %	\$94,060.31	39.1 %
<b>E05</b>	56	\$70,727.17	\$56,141.16	26.0 %	\$54,095.76	30.7 %
	67	\$200,584.39	\$116,619.51	72.0 %	\$86,008.72	133.2 %
	78	\$70,366.39	\$36,462.10	93.0 %	\$42,892.05	64.1 %

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020, estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados	Diferencia envíos consolidados con respecto a estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a estimación
	82	\$136,718.50	\$44,873.66	204.7 %	\$47,750.23	186.3 %
	98	\$42,100.32	\$28,324.33	48.6 %	\$39,590.99	6.3 %
	99	\$135,241.01	\$53,689.80	151.9 %	\$51,667.99	161.8 %
	126	\$35,627.26	\$19,883.20	79.2 %	\$31,528.94	13.0 %
	180	\$54,148.93	\$26,345.66	105.5 %	\$37,612.33	44.0 %
	196	\$128,559.47	\$94,291.87	36.3 %	\$74,596.68	72.3 %
	279	\$52,725.73	\$22,657.18	132.7 %	\$33,663.33	56.6 %
<b>F06</b>	60	\$63,415.69	\$25,383.72	149.8 %	\$36,251.15	74.9 %
	119	\$69,610.17	\$20,191.17	244.8 %	\$31,744.52	119.3 %
	185	\$143,880.18	\$135,410.57	6.3 %	\$106,341.38	35.3 %
	231	\$21,180.01	\$15,014.81	41.1 %	\$27,794.56	-23.8 %
	327	\$153,411.92	\$126,001.77	21.8 %	\$102,279.21	50.0 %
	337	\$74,745.19	\$64,630.08	15.7 %	\$64,018.11	16.8 %
	338	\$70,382.01	\$46,932.74	50.0 %	\$51,470.49	36.7 %
	340	\$85,155.62	\$48,174.05	76.8 %	\$51,783.95	64.4 %
	347	\$66,337.77	\$57,617.28	15.1 %	\$66,249.00	0.1 %
	378	\$47,763.09	\$30,726.06	55.4 %	\$41,618.31	14.8 %
<b>G07</b>	30	\$308,784.91	\$152,220.93	102.9 %	\$122,697.25	151.7 %
	41	\$240,341.64	\$119,622.46	100.9 %	\$104,085.96	130.9 %
	57	\$265,478.08	\$138,120.37	92.2 %	\$119,055.49	123.0 %
	83	\$174,046.76	\$79,336.38	119.4 %	\$79,190.05	119.8 %
	135	\$124,990.67	\$56,587.14	120.9 %	\$67,881.92	84.1 %
	205	\$85,830.01	\$55,806.56	53.8 %	\$64,466.21	33.1 %
	241	\$52,371.99	\$41,662.27	25.7 %	\$59,125.01	-11.4 %
	277	\$73,183.14	\$31,963.87	129.0 %	\$48,151.44	52.0 %
	363	\$53,413.44	\$37,173.88	43.7 %	\$53,759.90	-0.6 %
<b>H08</b>	166	\$101,303.39	\$48,475.51	109.0 %	\$56,301.70	79.9 %
	291	\$112,379.73	\$127,959.01	-12.2 %	\$103,645.42	8.4 %
	296	\$41,513.97	\$40,281.15	3.1 %	\$51,946.17	-20.1 %
	313	\$25,702.92	\$34,029.32	-24.5 %	\$47,063.25	-45.4 %
	321	\$104,686.22	\$93,687.99	11.7 %	\$83,657.94	25.1 %
	336	\$100,531.99	\$75,264.52	33.6 %	\$72,377.67	38.9 %
	368	\$54,042.93	\$44,944.14	20.2 %	\$53,533.61	1.0 %
<b>I09</b>	95	\$248,382.55	\$107,839.19	130.3 %	\$95,301.78	160.6 %
	121	\$114,007.55	\$50,311.19	126.6 %	\$54,521.89	109.1 %
	222	\$116,292.83	\$58,820.78	97.7 %	\$60,724.39	91.5 %
	257	\$71,605.23	\$36,334.16	97.1 %	\$45,387.94	57.8 %

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020, estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados	Diferencia envíos consolidados con respecto a estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a estimación
	283	\$105,787.38	\$51,944.26	103.7 %	\$56,245.80	88.1 %
	312	\$109,287.08	\$52,943.02	106.4 %	\$56,669.74	92.8 %
<b>J10</b>						
<b>Origen A</b>	44	\$409,114.12	\$106,211.24	285.2 %	\$86,734.70	371.7 %
	178	\$75,622.09	\$28,343.26	166.8 %	\$47,932.79	57.8 %
<b>J10</b>						
<b>Origen B</b>	103	\$195,093.61	\$94,084.51	107.4 %	\$75,871.56	157.1 %
	183	\$37,830.54	\$45,809.11	-17.4 %	\$51,029.10	-25.9 %
	226	\$80,022.93	\$47,791.18	67.4 %	\$51,658.99	54.9 %
	233	\$51,014.31	\$35,442.75	43.9 %	\$44,792.05	13.9 %
<b>K11</b>	74	\$124,118.56	\$74,582.68	66.4 %	\$88,929.06	39.6 %
	88	\$97,380.37	\$72,098.64	35.1 %	\$86,669.94	12.4 %
	201	\$35,750.68	\$38,223.79	-6.5 %	\$60,806.11	-41.2 %
	242	\$50,894.83	\$30,633.05	66.1 %	\$50,848.72	0.1 %
	364	\$54,731.60	\$52,693.70	3.9 %	\$75,028.68	-27.1 %
<b>L12</b>	51	\$207,570.00	\$104,828.55	98.0 %	\$95,241.09	117.9 %
	117	\$157,215.94	\$80,582.19	95.1 %	\$83,485.07	88.3 %
	149	\$322,277.53	\$107,378.58	200.1 %	\$96,956.05	232.4 %
	202	\$244,264.56	\$103,642.99	135.7 %	\$95,657.82	155.4 %
	355	\$83,890.98	\$34,795.47	141.1 %	\$60,867.89	37.8 %
<b>M13</b>	130	\$308,606.55	\$83,743.66	268.5 %	\$79,593.18	287.7 %
	140	\$332,931.13	\$78,155.59	326.0 %	\$75,850.03	338.9 %
	156	\$306,612.19	\$70,540.75	334.7 %	\$71,304.78	330.0 %
	209	\$83,349.01	\$53,619.10	55.4 %	\$61,647.35	35.2 %
<b>N14</b>	131	\$538,934.70	\$101,963.56	428.6 %	\$81,834.09	558.6 %
	136	\$42,893.84	\$12,275.69	249.4 %	\$29,794.90	44.0 %
	191	\$345,995.29	\$65,976.04	424.4 %	\$60,728.29	469.7 %
	360	\$299,427.37	\$36,136.83	728.6 %	\$44,180.72	577.7 %
<b>O15</b>	10	\$516,149.29	\$184,929.28	179.1 %	\$128,008.85	303.2 %
	164	\$45,355.80	\$55,259.99	-17.9 %	\$64,513.75	-29.7 %
	260	\$28,905.09	\$19,814.69	45.9 %	\$43,648.02	-33.8 %
	263	\$40,218.76	\$17,801.30	125.9 %	\$41,655.83	-3.4 %
<b>P16</b>	139	\$67,240.40	\$56,718.96	18.6 %	\$49,135.20	36.8 %
	177	\$52,885.28	\$45,323.64	16.7 %	\$43,321.31	22.1 %
	181	\$27,904.77	\$26,283.10	6.2 %	\$31,952.96	-12.7 %
	199	\$43,412.51	\$30,851.31	40.7 %	\$34,245.68	26.8 %
<b>Q17</b>	22	\$322,507.52	\$129,488.17	149.1 %	\$88,320.01	265.2 %
	63	\$85,263.88	\$39,183.77	117.6 %	\$44,925.42	89.8 %

Proveedor	ID de producto	Costo anual total 2020, estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados	Diferencia envíos consolidados con respecto a estimación	Costo anual total 2020. Envíos consolidados con R homogéneo	Diferencia modelo con R homogéneo con respecto a estimación
	93	\$40,240.92	\$16,810.34	139.4 %	\$34,275.32	17.4 %
	265	\$17,809.69	\$14,208.06	25.3 %	\$32,883.44	-45.8 %
<b>R18</b>	59	\$182,451.00	\$60,603.03	201.1 %	\$51,036.40	257.5 %
	73	\$85,960.90	\$39,089.83	119.9 %	\$40,797.58	110.7 %
	245	\$95,916.79	\$36,919.66	159.8 %	\$38,844.91	146.9 %
	295	\$68,222.55	\$29,374.89	132.2 %	\$35,239.25	93.6 %
<b>S19</b>	3	\$738,458.32	\$215,901.29	242.0 %	\$152,471.56	384.3 %
	92	\$69,834.14	\$37,659.88	85.4 %	\$53,881.33	29.6 %
	125	\$47,075.75	\$24,145.86	95.0 %	\$46,979.14	0.2 %
	264	\$46,078.62	\$17,662.92	160.9 %	\$42,225.44	9.1 %
<b>T20</b>	134	\$107,725.94	\$52,621.37	104.7 %	\$58,524.48	84.1 %
	144	\$153,669.72	\$83,802.42	83.4 %	\$74,097.11	107.4 %
	198	\$174,862.92	\$94,743.00	84.6 %	\$78,796.72	121.9 %
	230	\$48,493.37	\$23,700.76	104.6 %	\$43,725.63	10.9 %
<b>U21</b>	14	\$501,361.94	\$144,663.42	246.6 %	\$115,235.54	335.1 %
	24	\$352,064.04	\$90,260.08	290.1 %	\$88,003.65	300.1 %
	175	\$53,517.04	\$22,653.61	136.2 %	\$55,715.73	-3.9 %
<b>V22</b>	8	\$974,063.77	\$350,378.16	178.0 %	\$244,357.87	298.6 %
	165	\$50,679.19	\$40,203.17	26.1 %	\$91,731.29	-44.8 %
	305	\$40,572.26	\$31,518.45	28.7 %	\$86,070.35	-52.9 %
<b>W23</b>	53	\$567,754.27	\$150,351.24	277.6 %	\$164,738.83	244.6 %
	106	\$233,951.35	\$282,010.45	-17.0 %	\$232,941.77	0.4 %
	159	\$183,770.11	\$110,501.80	66.3 %	\$148,869.79	23.4 %
<b>X24</b>	123	\$140,810.81	\$84,943.13	65.8 %	\$76,735.11	83.5 %
	228	\$114,084.13	\$53,647.70	112.7 %	\$62,348.35	83.0 %
	266	\$94,781.91	\$70,623.19	34.2 %	\$70,175.04	35.1 %
<b>Y25</b>	157	\$178,612.81	\$130,623.60	36.7 %	\$115,166.08	55.1 %
	213	\$44,183.67	\$84,143.41	-47.5 %	\$94,745.92	-53.4 %
	274	\$267,616.64	\$94,007.40	184.7 %	\$98,845.14	170.7 %
<b>Z26</b>	293	\$65,572.97	\$46,916.05	39.8 %	\$47,779.95	37.2 %
	362	\$71,136.60	\$48,829.54	45.7 %	\$48,356.48	47.1 %
<b>Total</b>		<b>\$31,389,464.21</b>	<b>\$11,509,114.13</b>	<b>172.7 %</b>	<b>\$11,654,044.44</b>	<b>169.3 %</b>