



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Diseño de políticas de inventario para producto terminado  
utilizando programación dinámica, en una empresa dedicada a la  
fabricación y venta de productos plásticos”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS**

**Presentada por:**

**María Lorena Banchón Tinoco**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2024**

# TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**Msc. María Belén Segovia Navarrete**  
Profesor de Materia

---

**Carlos Aníbal Suárez Hernández,**  
**Ph.D**  
Tutor de proyecto

## DECLARACIÓN EXPRESA

Yo María Lorena Banchón Tinoco acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de marzo del 2025.

---

María Lorena Banchón Tinoco

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo principal el diseño e implementación de un modelo de programación dinámica para la optimización de la gestión de inventarios en una empresa dedicada a la fabricación y distribución de productos plásticos.

La metodología aplicada involucró una clasificación ABC de los productos, identificando los más relevantes para la empresa y enfocando la optimización en estos productos clave. De un total de los productos, 73 pertenecían a la categoría A, lo que representaba un 80% de las ventas. A través del modelo, se generaron políticas específicas de reabastecimiento que permitieron ajustar las cantidades de pedido según el estado actual del inventario, con el fin de minimizar los costos de almacenamiento y los quiebres de stock.

Se realizó un análisis de la demanda utilizando pruebas de bondad de ajuste, como Kolmogórov-Smirnov y Chi-cuadrado. Los resultados mostraron el rechazo de la hipótesis nula en ambas pruebas: en la K-S, el valor p fue inferior a 0.05, y en Chi-cuadrado, fue aproximadamente 0.005. Esto indicó que los datos no siguen una distribución normal ni una distribución teórica esperada, sugiriendo la necesidad de enfoques o modelos alternativos para el análisis de la demanda.

Se implementó un algoritmo de programación dinámica utilizando el lenguaje de programación Python. El algoritmo tomaba como entrada los parámetros necesarios para el modelo, tales como la tabla de frecuencias de la demanda analizada, las unidades máximas a ordenar, las unidades máximas por almacenar y los costos asociados al modelo. Con estos datos, el programa ejecutaba las simulaciones y generaba, como resultado, la cantidad óptima a ordenar según el estado o nivel de inventario en el que se encontrara la empresa.

Los resultados obtenidos mostraron que, mediante el uso del modelo, se logró una mayor eficiencia en el proceso y se aseguró la disponibilidad de productos sin incurrir en excesos.

# ÍNDICE GENERAL

## CAPITULO 1

<b>1. ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>7</b>
1.1 Antecedentes .....	7
1.1.1 Historia de la empresa .....	7
1.1.2 Actualidad .....	7
1.1.3 Canales de distribución .....	7
1.2 Problema a resolver .....	8
1.3 Justificación del problema .....	10
1.4 Objetivo general y específicos .....	11
1.4.1 Objetivo general .....	11
1.4.2 Objetivos específicos .....	11

## CAPITULO 2 .....

<b>2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Metodología para resolver del problema propuesto .....	11
2.2 Resultados esperados .....	12
2.2.1 Mejora en la precisión del inventario.....	12
2.2.2 Incremento en la rotación de inventario.....	12
2.2.3 Reducción de ventas perdidas por falta de stock.....	12
2.2.4 Reducción de costos asociados al almacenamiento.....	12
2.2.5 Optimización de la satisfacción del cliente.....	12
2.2.6 Mejora en la toma de decisiones estratégicas .....	13
2.2 Cronograma .....	13

## CAPITULO 3 .....

<b>3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
3.1 Recolección y análisis de la información.....	15
3.1.1 Clasificación ABC de productos.....	15
3.1.2 Análisis de la demanda y justificación de la metodología propuesta.....	16
3.2 Desarrollo de la metodología .....	18
3.2.1 Programación dinámica .....	18
3.2.2 Supuestos del modelo.....	19
3.2.3 Parámetros del modelo .....	19

3.2.4 Variables necesarias para la formulación del problema como un problema de decisión de Markov .....	19
3.2.5 Matriz de probabilidades de transición de estado .....	20
3.2.6 Función objetivo y sus componentes.....	20
3.2.6.1 Costo de ordenar .....	20
3.2.6.2 Costo de mantener .....	21
3.2.6.3 Función ingreso.....	21
3.2.7 Función de recompensa.....	21
3.2.8 Políticas .....	22
3.2.9 Iteración de valor .....	22
3.2.9.1 Uso del algoritmo.....	23
3.2.10 Discretización de la demanda .....	24
3.3 Ventajas y desventajas del método de iteración de valor .....	26
3.4 Lenguaje de programación utilizado .....	27
3.5 Resultados obtenidos .....	27
3.5.1 Entrada del programa .....	27
3.5.2 Generación de política .....	30
3.6 Análisis financiero.....	31
<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>34</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>34</b>
4.1 Conclusiones .....	34
4.2 Recomendaciones.....	35
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>36</b>

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. Historia de la empresa

La empresa objeto de estudio fue fundada en febrero de 1969 con el propósito inicial de producir jabs plásticas destinadas a la comercialización de los principales embotelladores de bebidas en el Ecuador. Su primer paso en la industria fue la fabricación de productos como cajas plásticas, las cuales se consolidaron como una solución clave para el sector de bebidas. En sus inicios, la compañía operaba con una sola máquina y un equipo de tan solo nueve colaboradores. Sin embargo, gracias a una gestión estratégica orientada al crecimiento y adaptación a las necesidades del mercado, la empresa logró expandir su capacidad productiva y diversificar su línea de productos.

La globalización del uso de plásticos durante las siguientes décadas permitió a la empresa evolucionar hacia la fabricación de una gama más amplia de productos plásticos de uso cotidiano, diversificando así su portafolio y ampliando su impacto en el mercado. A lo largo de los años, la empresa ha experimentado un proceso de transformación significativa, tanto en su capacidad operativa como en su estructura organizativa, pasando de ser una pequeña iniciativa con un solo producto a convertirse en un actor relevante en la industria de la fabricación de productos plásticos.

#### 1.1.2. Actualidad

En la actualidad, la empresa produce más de 1000 artículos, manteniendo un control total a lo largo de su línea de producción, lo que le permite ofrecer productos de alta calidad y cumplir con las demandas de sus clientes. Sus instalaciones, ubicadas en Guayaquil, Ecuador, cuentan con la infraestructura adecuada para abastecer tanto al mercado local como a mercados internacionales. En la actualidad, la compañía emplea a más de 250 personas, lo que refleja el crecimiento y la consolidación de su presencia en el sector.

Este proceso de expansión y diversificación ha sido posible gracias a la constante innovación, el compromiso con la calidad y la capacidad de adaptarse a los cambios del mercado, lo que ha permitido a la empresa mantenerse competitiva en un entorno global cada vez más dinámico.

#### 1.1.3. Canales de distribución

La empresa cuenta con los siguientes canales de distribución: moderno, tradicional, embotelladoras, extranjero e industrial.

Canal moderno: se engloba la venta al por mayor para empresas de retail o de consumo masivo en locales.

Canal tradicional: se enfoca en distribuidores o minoristas.

Embotelladores: dirigido a empresas dedicadas al comercio y distribución de bebidas.

Extranjero: enfocado a la exportación de jabas a empresas internacionales.

Industrial: orientado a empresas para el transporte de alimentos o manufactura de repuestos automotriz.

A continuación, se muestra el gráfico (1.1), con el porcentaje de participación de venta por canal, observando un mayor porcentaje en ventas canal moderno y tradicional:

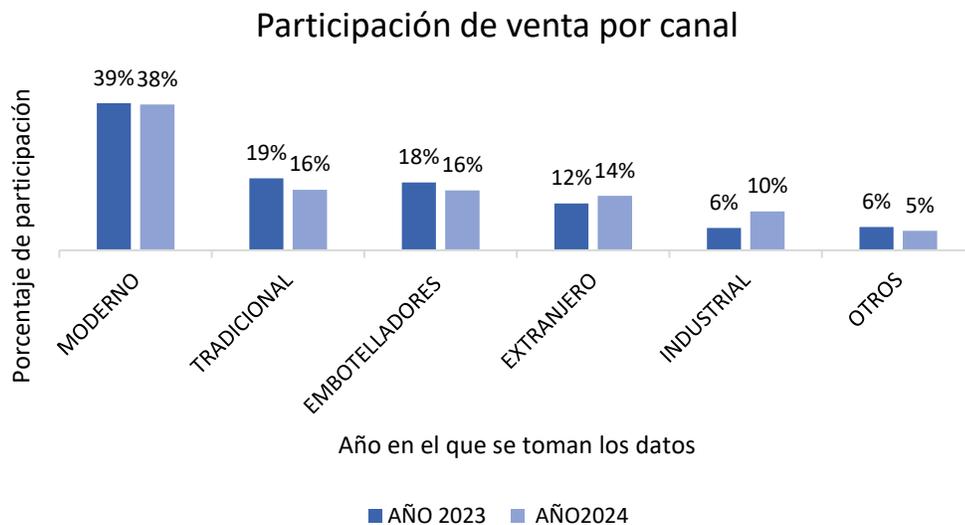


Gráfico 1.1 Porcentaje de ventas por canal

## 1.2. Problema a resolver

El problema surge de la necesidad de mitigar errores y reducir el tiempo perdido en actividades como la preparación de pedidos, el conteo de unidades durante inventarios cíclicos o de cierre de año y la pérdida de productos. Estas situaciones son consecuencia del desorden en el almacén, así como de un desequilibrio entre la oferta y la demanda, lo que generan costos adicionales por almacenamiento, deterioro o pérdida de productos.

La precisión del inventario IRA (Inventory Record Accuracy), definido como un indicador clave para evaluar la exactitud de los registros de inventario dentro de la empresa. Desde el inicio de su medición en 2024, la meta establecida para este indicador es alcanzar un 98% de precisión. Sin embargo, los resultados obtenidos

hasta la fecha reflejan un desempeño inferior a la meta en varios meses, lo que indica la presencia de inconsistencias en el manejo y control del inventario. El análisis de los datos generados durante los primeros diez meses del año muestra fluctuaciones significativas en los porcentajes de precisión, oscilando entre el 29% y el 69%. Estos valores indican una discrepancia considerable respecto a la meta deseada, evidenciando que los procesos actuales de gestión del inventario no están alcanzando el nivel de precisión requerido.

La tabla (1.1) a continuación, muestra los porcentajes obtenidos del indicador IRA a través de los meses, el registro es tomado a mano mediante el conteo de unidades por Sku y actualización del indicador se realiza con la herramienta de cálculo Excel.

MES	Total Skus con Sobrante	Total Skus con Faltante	Total Skus cuadrados	Total sku inventariados	% IRA
ENERO	6	8	29	43	67%
FEBRERO	26	27	47	100	47%
MARZO	11	20	49	80	61%
ABRIL	2	3	11	16	69%
MAYO	21	22	42	85	49%
JUNIO	38	27	52	117	44%
JULIO	76	69	59	204	29%
AGOSTO	56	58	54	168	32%
SEPTIEMBRE	29	34	82	145	57%
OCTUBRE	27	19	82	128	64%
NOVIEMBRE	35	43	99	177	55%
DICIEMBRE	37	39	76	152	50%

Tabla 1.1 Indicador precisión de inventario IRA

El análisis de estos datos revela varios factores que podrían estar contribuyendo a la baja precisión del inventario, entre los cuales destacan errores en el despacho y una falta de orden en el manejo de los productos dentro del almacén.

El bajo desempeño del indicador IRA refleja un desafío crítico para la empresa, ya que una gestión inadecuada del inventario puede generar pérdidas económicas, desajustes en la cadena de suministro, falta de disponibilidad de productos y una disminución de la satisfacción del cliente. Además, la discrepancia en los registros de inventario afecta la toma de decisiones y la planificación a largo plazo, lo que puede impactar negativamente en la eficiencia operativa de la empresa.

En definitiva, se vuelve indispensable mejorar la precisión del inventario para alcanzar la meta del 98% establecida por la empresa, lo cual requiere un rediseño y optimización de los procesos actuales de gestión del inventario, así como la implementación de estrategias para minimizar los errores en el manejo de los productos.

Adicional, la falta de control y seguimiento también puede llevar a errores en el inventario o provocar daños en la calidad de los productos almacenados. Como

consecuencia, afecta a la planificación de la producción (generar producción innecesaria) y la gestión de stock (sobrestock).

### **1.3. Justificación del problema**

La implementación de políticas de inventario adecuadas resulta fundamental para optimizar el abastecimiento de productos terminados, debido a las deficiencias detectadas en los procesos actuales de gestión del inventario. La falta de un sistema eficiente, junto con la fluctuación de la precisión del inventario (IRA), evidencian un desajuste en el control y la planificación de los productos disponibles.

Esta situación se ve reflejada en la baja precisión de los registros de inventario, la cual no ha logrado alcanzar el objetivo del 98% de exactitud establecido, y que afecta directamente tanto a la eficiencia operativa como a la satisfacción del cliente. A su vez, la presencia de inconsistencias en el manejo de productos, como errores en el despacho y en el conteo durante los inventarios cíclicos, provoca pérdidas económicas, retrasos en la preparación de pedidos y desajustes en la cadena de suministro, lo que genera un impacto negativo.

La falta de políticas claras en la rotación de inventarios, junto con el aumento de productos con baja rotación, complica aún más la gestión, llevando a un sobre stock innecesario o a la generación de producción innecesaria.

Por lo tanto, es imperativo desarrollar e implementar políticas de inventario que permitan un control más riguroso y eficiente, con el fin de reducir los costos operativos, mejorar la precisión de los registros y garantizar el abastecimiento adecuado de productos terminados, minimizando el impacto de los desajustes en la operación y en los indicadores clave de desempeño.

### **1.4. Objetivo general y específicos**

#### **1.4.1. Objetivo general:**

Implementar una política de inventario en el almacén de una empresa dedicada a la fabricación y venta de productos plásticos, con el fin de mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la productividad en la gestión de inventarios y la satisfacción del cliente.

#### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- ✓ Realizar un análisis de la situación actual del manejo de inventarios por parte de la empresa.

- ✓ Realizar un sistema de clasificación de inventario ABC, que permita un control y seguimiento efectivo de los productos almacenados según su importancia y valor.
- ✓ Desarrollar políticas de inventario para productos de clasificación A, con la finalidad de tener el stock necesario para abastecer la demanda y al mismo tiempo minimizar los costos asociados.
- ✓ Implementar en un lenguaje de programación, un algoritmo que determine políticas de inventario en base a la distribución de la demanda.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

#### **2.1. Metodología para resolver el problema propuesto**

Para abordar la problemática planteada, se implementará una metodología estructurada que comenzará con la recopilación y análisis de datos, seguida del diseño y la implementación de políticas de inventario enfocada en los SKU de alta rotación o de clasificación A. Esto incluye un diagnóstico detallado de la situación actual de la empresa, los procesos y el control de inventarios existentes, mediante entrevistas al personal, observación directa, análisis de la demanda, rotación de inventarios y costos asociados.

Dado que el proyecto se implementará en una bodega de producto terminado, es fundamental encontrar un equilibrio que garantice suficiente disponibilidad o stock de los productos, sin comprometer la rapidez, precisión del inventario ni la eficiencia en el procesamiento de pedidos. En otras palabras, se busca compatibilizar la operatividad con la capacidad de almacenamiento, según lo propuesto por Mauleón (2003).

Se aplicará la metodología del análisis ABC de productos, esto por motivo que, al tener clientes de canal moderno y tradicional, la diferencia de volumen de las ventas o despacho de producto es significativa, de igual forma la cartera de clientes es mucho más amplia en el canal tradicional. Es crucial tener un panorama de la situación actual, por lo cual se realizará un estudio de costos implicados en el almacenamiento de mercadería, principalmente de los productos de alta rotación, como lo son los costos directos, indirectos, capital inmovilizado, deterioro y ventas perdidas por falta de stock. Definiendo al costo como un rubro en el que incurre la empresa para cumplir con sus actividades diarias operativas (Portal, 2005).

Desarrollar e implementar una política de inventario en productos considerados de alto valor para la empresa, esto en consecuencia que la inadecuada planificación de la compañía ha traído consigo la producción de materiales que no están acorde a la demanda actual, generando sobrestock en el almacén, que incurren en gastos de almacenamiento elevados e innecesarios. En cuanto al valor del inventario, es

importante conocer que los costos por mercadería movilizada y almacenada impacta directamente en los costos de la empresa (Ballou, 2004).

Será necesaria la implementación de las políticas de inventario en un lenguaje de programación, que nos permita ejecutar el modelo propuesto y facilite la obtención de resultados.

Finalmente es importante tener una comparación de la situación antes y después de la implementación, para esto, es importante generar métricas (ROP), costo del inventario y escenarios (capacidad y recursos). Lo cual, es necesario principalmente para la medición del desempeño de la empresa, fundamental para revisar y evaluar el avance hacia los objetivos y la toma de decisiones basada en datos (Parmenter, 2019).

Para el presente proyecto se tomarán en cuenta indicadores desarrollados en la empresa como lo son: precisión de registro de inventario IRA (Inventory Record Accuracy), cobertura y rotación de inventario, adicional se generará el indicador costo por almacenamiento en bodega. Actualmente, los indicadores antes mencionados no cumplen la meta propuesta, por ejemplo: el indicador de precisión de inventario comparado con la meta del 98%. Sin embargo, con los KPI's manejados hasta el presente período, podemos obtener una comparación de resultados y corroborar la eficacia e impacto del presente proyecto en la empresa.

## **2.2. Resultados esperados.**

### **2.2.1. Mejora en la precisión del inventario:**

Enfocar la atención en productos de alta rotación (clasificación A), se espera una mejora significativa en la precisión de los registros de inventario. Esto se debe a un control más riguroso de los SKU de alta demanda.

### **2.2.2. Incremento en la rotación de inventario:**

Se espera que, con la implementación de la política de inventarios basada en el análisis ABC, los productos de alta rotación (clasificación A) tengan una mayor rotación, lo que permitirá reducir el tiempo de permanencia en el almacén y optimizar el flujo de productos.

### **2.2.3. Reducción de ventas perdidas por falta de stock:**

Un control más preciso y una planificación más alineada con la demanda ayudarán a reducir los problemas de stockout. Esto, ayudará a disminuir las ventas perdidas y mejorará el servicio al cliente, ya que los productos estarán disponibles cuando se necesiten.

### **2.2.4. Reducción de costos asociados al almacenamiento:**

La optimización de los niveles de inventario y la identificación de productos con baja rotación permitirá reducir los costos de almacenamiento, como el deterioro de mercadería y los costos de capital inmovilizado.

### 2.2.5. Optimización de la satisfacción del cliente:

Al garantizar que los productos de alta rotación (de clasificación A) estén siempre disponibles para satisfacer la demanda, se espera mejorar los tiempos de entrega y reducir las ventas perdidas debido a la falta de inventario, lo que contribuirá a un aumento en la satisfacción del cliente y la fidelización.

### 2.2.6. Mejora en la toma de decisiones estratégicas:

El análisis de los costos de inventario y la implementación de indicadores clave de rendimiento (KPI) permitirán a la empresa evaluar el desempeño de la política de inventarios, ajustando las estrategias conforme a los resultados obtenidos y mejorando la capacidad para tomar decisiones basadas en datos confiables.

## 2.3. Cronograma.

A continuación, en la tabla (2.1), se detalla las actividades a cumplir para la elaboración del presente proyecto, así como también el detalle de las actividades y el plazo de 4 meses, comenzando a partir del mes de septiembre.

Actividad	Descripción	Dic	En	Feb	Mar
Análisis de la situación actual	Realizar entrevistas al personal, observación directa de los procesos, análisis de la rotación y cobertura de inventarios				
Estudio de costos de almacenamiento	Analizar ventas perdidas, costo del almacenamiento y capital inmovilizado.				
Análisis de indicadores antes del desarrollo del proyecto	Realizar un análisis de los indicadores, evaluar la situación y el estado actual de la empresa.				
Implementación del análisis ABC	Clasificar los productos según su importancia (A, B, C) y analizar las implicaciones de cada categoría para los procesos de inventario.				

Análisis de la demanda	Realizar un análisis de la demanda de los productos de categoría A, que facilite tener una comprensión del comportamiento de la demanda.				
Realizar pruebas de bondad de ajuste	Realizar pruebas de bondad de ajuste, que permita evaluar si la demanda sigue una distribución teórica específica.				
Desarrollo de la política de inventario para productos A	Desarrollar políticas de inventario para productos de categoría A, de tal manera que se establezcan los niveles óptimos para los productos.				
Aplicación de la metodología a usar, en un lenguaje de programación	Implementar en un lenguaje de programación la metodología a implementar, considerando variables, parámetros y función objetivo.				
Revisión y Ajuste de Políticas	Revisar y ajustar las políticas implementadas para asegurar su efectividad y eficiencia.				
Revisión de métricas	Analizar indicadores clave del almacén para evaluar los resultados de las nuevas políticas.				
Comparación de situación antes y después del proyecto	Comparar el estado del almacén antes y después de la implementación para medir el impacto y los beneficios logrados.				
Finalización del proyecto y entrega a las autoridades correspondientes	Preparación del informe final y presentación formal a las autoridades interesadas.				

Tabla 2.1 Cronograma de actividades

## CAPÍTULO 3

### 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### 3.1. Recolección y análisis de la información

En esta sección se presenta la recopilación y análisis de la información relevante para comprender la situación actual de la empresa. Para ello, se emplearon diversas técnicas metodológicas, tales como entrevistas al personal clave, observación directa de los procesos operativos y análisis detallados de la rotación y cobertura de inventarios. Además, con el permiso de las autoridades de la empresa, se obtuvo información sobre la demanda de productos durante un período de un año, la cual fue esencial para el análisis.

Durante las reuniones realizadas con el jefe de bodega, se expuso el estado actual de la empresa, incluyendo una descripción del proceso de producción. Se identificó que dicho proceso carece de un análisis detallado y no se aplican políticas de inventario para el abastecimiento de productos terminados. Asimismo, se abordaron los tiempos empleados en la fabricación de los productos plásticos los cuales tienen un tiempo total de 1 semana, su almacenamiento, los procedimientos de gestión de pedidos, la preparación de los mismos y la entrega a los clientes finales, realizada con flota tercerizada.

Con la autorización de las autoridades de la empresa, se procedió a la recopilación y análisis de la demanda de productos correspondiente al último año (2024). A partir de la información obtenida, se realizó un análisis ABC, con el fin de clasificar los productos según su importancia y volumen de demanda. De este análisis, se identificaron los productos pertenecientes a la categoría A que representan un total de 73 productos, en los cuales se centrará el desarrollo de las políticas de inventario que se abordarán en este proyecto.

#### 3.1.1. Clasificación ABC de productos

En la clasificación ABC, se establece que 73 de los productos pertenecen a la categoría A, los cuales representan un 80% de las ventas totales de la empresa, mostrado en el gráfico (3.1) mediante el Diagrama de Pareto.

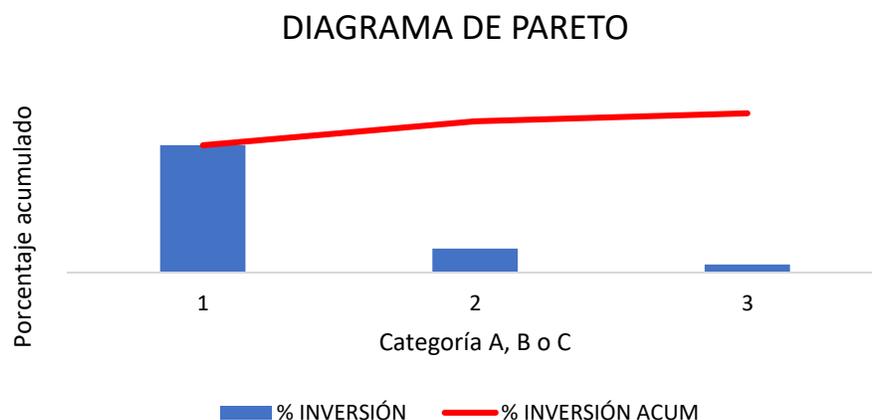


Gráfico 3.1 Diagrama de Pareto, clasificación de productos

En el gráfico (3.2) mostrado a continuación, se observa 20 de los 73 productos pertenecientes a la clasificación A, junto con la demanda promedio semanal obtenida durante un año.

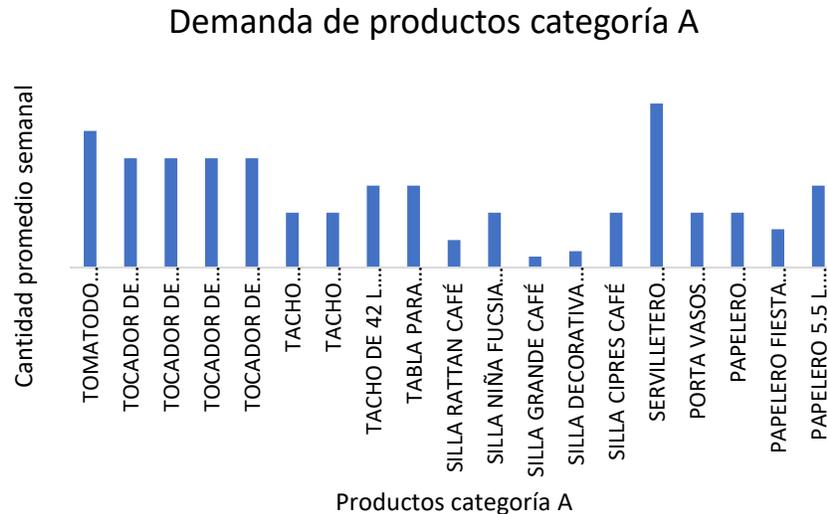


Gráfico 3.2 Demanda de productos categoría A

### 3.1.2. Análisis de la demanda y justificación de la metodología propuesta

Para el desarrollo del presente trabajo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la demanda de los productos mencionados previamente. Este análisis se basa en la demanda semanal de cada uno de los artículos.

Para el producto Silla niña fucsia pastel, se observa una clara estacionalidad, particularmente entre los días miércoles y jueves. Este patrón se atribuye al hecho de que este tipo de producto tiene una mayor demanda por parte de clientes y comercios ubicados en la zona céntrica de la ciudad de Guayaquil, los cuales requieren el producto para la venta durante los fines de semana, tal como se detalla en la tabla (3.1).

Día de la semana	Demanda promedio
lunes	10
martes	205
miércoles	499
jueves	570
viernes	450
sábado	274
domingo	265

Tabla 3.1 Demanda promedio semanal silla niña fucsia pastel

En el gráfico (3.3), que se presenta a continuación, se ilustra la demanda de uno de los productos analizados de manera semanal, podemos observar que no todas las semanas se realiza la venta del producto esto varía según la necesidad de los clientes y no es predecible.

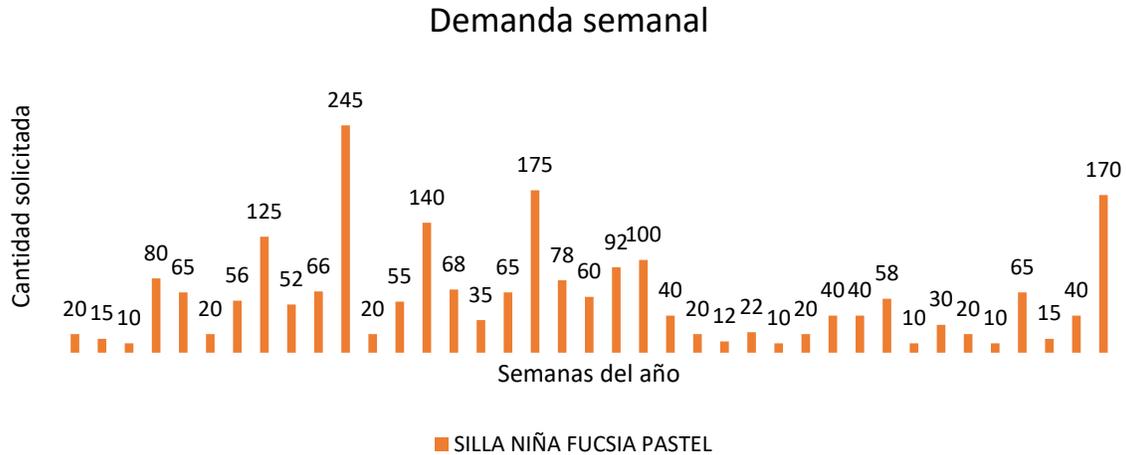


Gráfico 3.3 Demanda de producto por semana

Para el análisis de la distribución de los datos y su ajuste a modelos teóricos, se llevaron a cabo las pruebas de Kolmogórov-Smirnov (K-S) y Chi-cuadrado en el lenguaje de programación R. Adicional, se grafica un histograma la demanda (gráfico 3.4) y gráficos de análisis de demanda, para un análisis visual de los datos (gráfico 3.5), dando como resultado que no se observa que se asemeje a una campana, es decir no sigue una forma de distribución normal.

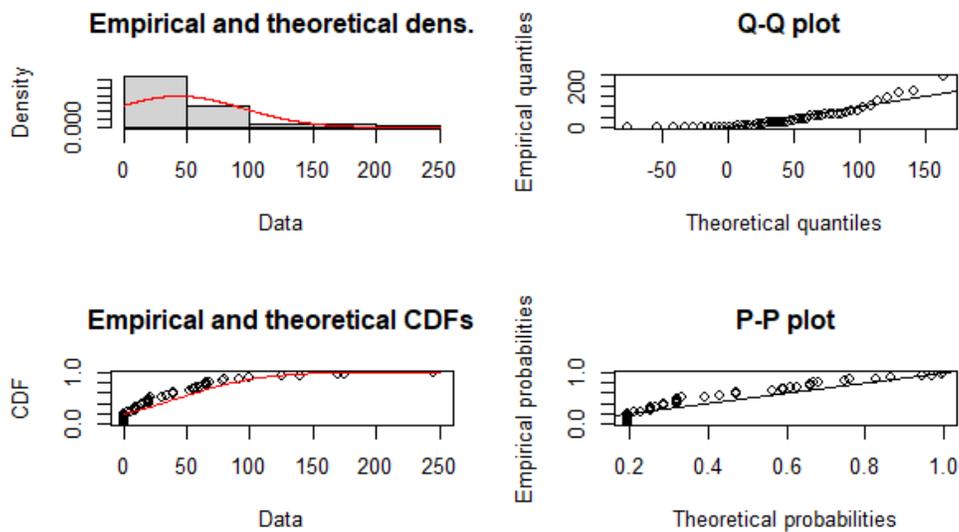


Gráfico 3.4 Gráficos análisis de demanda

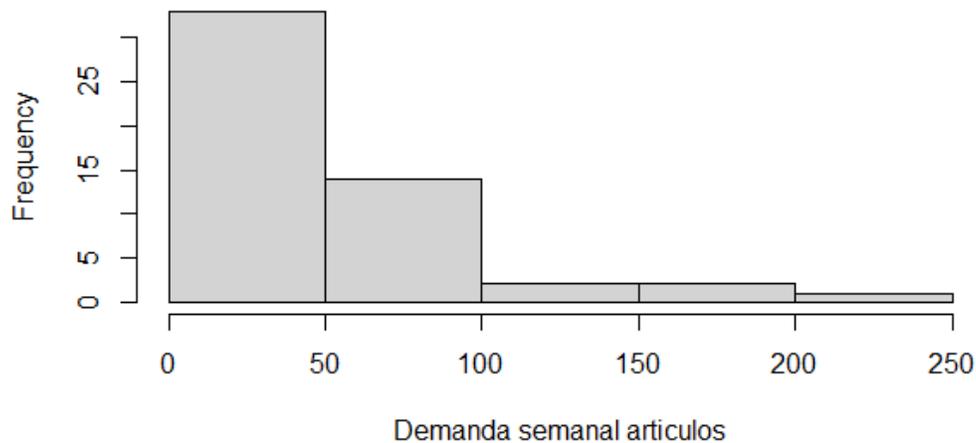


Gráfico 3.5 Histograma artículo analizado

La prueba de Kolmogórov-Smirnov se utilizó para evaluar si los datos de la demanda de productos seguían una distribución normal. En este caso, la hipótesis nula planteada fue que los datos seguían una distribución normal. El resultado de la prueba K-S indicó un valor  $p$  inferior a 0.05, lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula, concluyendo que los datos no se ajustan a una distribución normal. Esto implica que la distribución de los datos observados presenta características diferentes a las de una distribución normal.

Por otro lado, se aplicó la prueba de Chi-cuadrado para evaluar si las frecuencias observadas en la demanda semanal de los productos se ajustaban a una distribución teórica esperada. El valor  $p$  obtenido fue de aproximadamente 0.005, lo que también indicó un rechazo de la hipótesis nula en este caso. Este resultado sugiere que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los datos no siguen la distribución teórica con la cual fueron comparados, lo que confirma la presencia de variabilidad en la demanda semanal de los productos analizados.

Ambas pruebas proporcionaron información clave para comprender la naturaleza de los datos, y los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de considerar otros enfoques o modelos para el análisis de la demanda, dado que los datos no siguen distribuciones comunes. Las pruebas realizadas en el artículo en mención, fueron replicadas para todos los productos seleccionados como de categoría A, dando resultados similares, lo que nos sugiere utilizar otras opciones para la resolución del presente proyecto.

## 3.2. Desarrollo de la metodología

### 3.2.1. Programación dinámica

La programación dinámica es un método de optimización empleado para abordar problemas complejos, descomponiéndolos en subproblemas más manejables que se resuelven de forma recursiva. Las soluciones obtenidas de estos subproblemas se almacenan, lo que permite evitar su re cálculo y mejora la eficiencia en la resolución del problema global, (Gosavi, 2010).

En este proyecto, dado que los datos de demanda no siguen una distribución normal ni se ajustan a modelos teóricos predefinidos, la programación dinámica permitirá optimizar el flujo de inventarios y la planificación de la demanda. A través de la descomposición del problema en subproblemas, como la determinación de la cantidad de pedido y el tiempo de reabastecimiento, el modelo se adaptará a las fluctuaciones de la demanda observada, basado en la formulación como problema de decisión de Markov, (Sutton & Barto, 2014).

### 3.2.2. Supuestos del modelo

Para la resolución del presente proyecto, se establecerán una serie de supuestos fundamentados en la información recopilada durante el proceso de análisis. A continuación, se detallan dichos supuestos, los cuales servirán como base para el desarrollo y la aplicación del modelo propuesto:

- Se asume demanda discreta ( $D = 1,2,3,4\dots$ ) unidades.
- Se tiene un reabastecimiento de 1 semana, Lead time.
- Inventario no perecible, productos fabricados con material plástico.
- Si la demanda no logra ser atendida, se pierde (venta perdida).
- La capacidad total del almacén es suficiente, con capacidad de  $M$  unidades.
- En el almacén, se toma en consideración el método de gestión de inventario FIFO.

### 3.2.3. Parámetros del modelo

A continuación, se establecen los parámetros del modelo, mismos que determinan el comportamiento y las interrelaciones dentro del modelo. Estos valores son fundamentales para el funcionamiento del modelo, ya que establecen cómo las variables de entrada (inputs) se convierten en las variables de salida (outputs).

Se definen los siguientes parámetros y variables para el modelo de gestión de inventarios:

- $t$ : Período en semanas.
- $C_o$ : Costo de ordenar.
- $C_c$ : Costo de mantener inventarios.
- $D_t$ : Demanda en el período  $t$ , medida en unidades.
- $p_j$ : Probabilidad de que se vendan  $j$  unidades de producto en el período  $t$ , es decir,  $P(D_t = j) = p_j$ .
- $M$ : Capacidad de almacenamiento, medida en unidades.
- $\lambda$ : Factor de descuento, con un valor de 0.95

### 3.2.4. Variables necesarias para la formulación del problema como un problema de decisión de Markov

Para el desarrollo del presente proyecto, se implementará un modelo de programación dinámica basado en cadenas de Markov y la ecuación de Bellman, con el fin de optimizar la gestión de inventarios en función de la demanda y los costos asociados. Para formular este modelo como un problema de decisión de Markov, se requieren varias variables clave. Estas incluyen:

- Variable de etapa: Semanas ( $t = 1, 2, 3, \dots, N$ )
- Variable de estado:  $S_t$  = nivel del inventario en tiempo  $t$ .
- Variable de acción:  $a_t$  = cantidad a ordenar en el tiempo  $t$ .
- Variable  $Y_t$  = inventario por recibir considerando lead time.

Actualización del estado:

En el presente modelo, se asume la posibilidad de ventas perdidas debido a que la demanda puede superar el nivel de inventario disponible en determinados periodos. Para modelar esta situación, se emplea la siguiente ecuación de transición del estado del inventario:

$$S_{t+1} = \text{Max} (S_t + a_t - D_t, 0) \quad (3.1)$$

### 3.2.5. Matriz de probabilidades de transición de estado

Se empleará una matriz de probabilidades de transición de estado para describir cómo el nivel de inventario evoluciona a lo largo del tiempo, considerando las probabilidades asociadas a las demandas y los reabastecimientos. Esta matriz permitirá modelar el comportamiento estocástico del sistema, donde las transiciones de un estado a otro dependen únicamente del estado actual.

A través de este enfoque, se podrá calcular la probabilidad de que el inventario en un periodo dado se encuentre en un nivel específico en el siguiente periodo, lo que facilitará la toma de decisiones óptimas sobre las cantidades a ordenar y los momentos de reabastecimiento, definida como: Probabilidad de estar en un estado  $S'$  mañana, dado que estuvimos en un estado  $S$  hoy y tomamos la acción  $a$ , (Puterman, 2005).

$$P_r(S'|S, a) = \begin{cases} 0; & \text{if } S' \in (S + a, M) \\ P_{S+a-S'}; & \text{if } S' \in (0, S + a) \wedge S + a \leq M \\ \sum_{K>S+a} P_k; & \text{if } S' = 0 \wedge S + a \leq M \end{cases} \quad (3.2)$$

### 3.2.6. Función objetivo y sus componentes

#### 3.2.6.1. Costo de ordenar

Costo de pedir unidades, esto es donde  $K$  será el costo fijo y  $C$  el costo por unidad de producto:

$$C_o(a_t) = \begin{cases} K + C(a_t); & \text{if } a_t > 0 \\ 0; & \text{if } a_t = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

### 3.2.6.2. Costo de mantener

Es el costo que se incurre en mantener el inventario almacenado, donde  $S_t + a_t - D_t$  son las unidades de producto al final de la semana  $t$ .

$$C_c (S_t + a_t - D_t) \quad (3.4)$$

### 3.2.6.3. Función ingreso

Para la presente función ingreso, Price o precio es el valor que se da al producto para la venta:

$$F_t (S_t + a_t) = E[\text{Min}(D_t, S_t + a_t) * \text{price}] \quad (3.5)$$

Si el nivel al principio del periodo ( $u$ ) es mayor a la demanda ( $D_t$ )  $u = S_t + a_t > D_t = j$  (3.6), la función que se indica, también será escrita de la siguiente manera, ocurre con probabilidad  $P(j)$ :

$$f(j) = \text{price} * j \quad (3.7)$$

Sin embargo, si la demanda excede o es mayor que lo disponible en el stock, entonces la ganancia viene dada por:

$$f(u) = \text{price} * u \quad (3.8)$$

$$u = S_t + a_t \quad (3.9)$$

Por tanto, se da con la probabilidad mostrada a continuación:

$$q_u = \sum_{j=u}^{\infty} P_j \quad (3.10)$$

Teniendo en consideración lo indicado, entonces, la función de ingreso está dada por:

$$F_t(u) = F_t(S_t + a_t) = \sum_{j=0}^{u-1} f(j) * p_j + f(u) * q_u \quad (3.11)$$

### 3.2.7. Función de recompensa

La función de recompensa se emplea con el propósito de optimizar las decisiones de inventario, maximizando los beneficios y minimizando los costos asociados al manejo de

existencias. Este enfoque permite desarrollar políticas de gestión eficientes, considerando las probabilidades de demanda y los costos operativos.

$$r_t(S_t + a_t) = E[\text{Min}(D_t, S_t + a_t) * \text{price}] - C_0(a_t) - C_c(S_t + a_t - D_t) \quad (3.12)$$

### 3.2.8. Políticas

Una política en el contexto de las cadenas de Markov y la gestión de inventarios se refiere a una secuencia de decisiones que asignan una cantidad de pedido  $a_t$  a solicitar en cada período de tiempo  $t$ , en función del inventario inicial  $S_t$  para ese período. Es decir, la política define una estrategia que especifica qué cantidad pedir en cada etapa del proceso, dependiendo del estado actual del sistema (el nivel de inventario). Formalmente, una política  $d_n$  se representa como una secuencia de decisiones:

$$d_n = \{a_n(1), a_n(2), a_n(3), \dots, a_n(s)\} \quad (3.13)$$

Donde cada  $a_n(t)$  corresponde a la acción tomada en el tiempo  $t$  bajo el estado  $S_t$ , la política busca maximizar el desempeño del sistema, considerando las demandas y costos asociados a las decisiones de inventario.

### 3.2.9. Iteración de valor

- La ecuación de optimización de un horizonte finito (Bellman) se puede escribir como:

$$u_n(S) = \max_{a \in A_s} \left\{ r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j | S, a) * u_{n+1}(j) \right\} \quad (3.14)$$

Donde:

$u_n(S)$  es el valor de estar en el estado  $S$  en el  $n$ -ésimo paso (o tiempo).

$A_s$  es el conjunto de acciones posibles en el estado  $S$ .

$r(S, a)$  es la recompensa obtenida al tomar la acción  $a$  en el estado  $S$ .

$p(j|S, a)$  es la probabilidad de transición de pasar al estado  $j$  desde el estado  $S$  al tomar la acción  $a$ .

$u_{n+1}(j)$  es el valor futuro del estado  $j$  en el siguiente paso.

$\lambda$  es el factor de descuento, que pondera la importancia de las recompensas futuras en comparación con las inmediatas.

- Pasando al límite, la ecuación del horizonte infinito se puede escribir como:

$$u_i = \max_{a \in A_s} \left\{ r(i, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j | S, a) * u(j) \right\} \quad (3.15)$$

Donde:

$u_i$  es el valor esperado de estar en el estado  $i$  bajo una política óptima, considerando el horizonte infinito.

### 3.2.9.1. Uso del algoritmo

El algoritmo de iteración de valor se emplea en este proyecto para determinar las políticas óptimas de inventario en un almacén de productos terminados. Su propósito es maximizar la eficiencia operativa, evaluando secuencialmente las decisiones de reposición y gestionando las transiciones de estado en función de la demanda y los costos asociados.

#### Pasos a seguir:

- **Paso 1: Iniciar y seleccionar:**  
 Seleccione  $v^0 \in V$ , escoja un límite  $e'$ .  
 Establecer un  $n = 0$ .
- **Paso 2: Calcular:**  
 Para  $\forall s \in S$ , calcule:  
 $V^n(S) = V^{n+1}(S)$   
 $V^{n+1}(S) = \max_{a \in A_s} \{ r_t(S_t, a_t) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j | S, a) * V^n(j) \}$
- **Paso 3: Evaluar:**  
 Si  $||V^{n+1}(S) - V^n(S)|| \leq e'$ , vaya al paso 4.  
 Caso contrario, el incremento está dado por:  
 $n = n + 1$  y vaya al paso 2
- **Paso 4: Política**  
 Para  $\forall_s \in S$ , la política óptima ( $e'$ ) en este paso está dada por:  
 Devuelve  $d_e(S) = \arg \max_{a \in A_s} \{ r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j | S, a) * V^{n+1}(S) \}$

### 3.2.10. Discretización de la demanda

En el presente modelo de gestión de inventarios, se empleará la discretización de la demanda para convertir una variable continua en una serie de niveles discretos, lo cual facilita la formulación del problema dentro del marco de programación dinámica.

La demanda se segmentará en intervalos específicos, asignando a cada uno una probabilidad estimada basada en datos históricos o supuestos razonables. Esta transformación permitirá modelar las transiciones de estado y las decisiones de inventario de manera eficiente, optimizando el proceso de toma de decisiones en función de las fluctuaciones de la demanda observada.

La discretización de la demanda mediante intervalos y frecuencias se realiza siguiendo una serie de pasos que permiten transformar una variable continua en una variable discreta. A continuación, se describen los pasos a seguir para llevar a cabo este proceso:

- **Paso 1: Recolección de datos históricos de demanda:**

Tal como muestra la tabla (3.2), se obtiene una serie de datos históricos de demanda en el período de análisis (demanda semanal durante un año), para el actual ejemplo se utilizará la demanda del producto silla niña fucsia pastel.

Semanas	SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL
2	0
3	20
4	15
5	10
6	80
7	65
8	20
9	0
10	56
11	125
12	52
...	...

Tabla 3.2 Demanda semanal del producto silla

- **Paso 2: Selección del número de intervalos:**

Se decide cuántos intervalos o categorías se utilizarán para discretizar la demanda. El número de intervalos dependerá del nivel de precisión deseado y de la complejidad computacional que se esté dispuesto a manejar.

Los intervalos pueden tener el mismo tamaño o ser adaptativos, dependiendo de la distribución de la demanda, para el presente trabajo, en la tabla (3.3), se utilizarán intervalos que se adapten a la demanda. Para el producto Silla Niña Fucsia Pastel, se generan 8 intervalos.

Rango inf	Rango Sup
0	16
16	32
32	48
48	64
64	80
80	96
96	112
112	128
128	144
144	160
160	176
176	192
192	208
208	224
224	240
240	256

Tabla 3.3 Rangos superior e inferior de los intervalos

- **Paso 3: Cálculo de frecuencias o probabilidades:**

Para cada intervalo definido, se calcula la frecuencia relativa o la ocurrencia de la demanda dentro de ese intervalo. Como se observa en la tabla (3.4), en la frecuencia se obtiene contando cuántos datos caen dentro de cada intervalo.

Rango inf	Rango Sup	Cant datos
0	16	20
16	32	8
32	48	5
48	64	5
64	80	6
80	96	2
96	112	1
112	128	1
128	144	1
144	160	0
160	176	2
176	192	0
192	208	0
208	224	0
224	240	0
240	256	1

Tabla 3.4 Frecuencias de los datos

- **Paso 4: Asignación de probabilidades a los intervalos:**

Las frecuencias de cada intervalo se normalizan para que sumen 1, convirtiéndolas en probabilidades  $P(D_t = j)$ , donde  $j$  es el valor de la demanda en el intervalo. Esto convierte la discretización en un conjunto de valores probabilísticos, tal como se muestra en la tabla (3.5), se obtiene la probabilidad P.

Rango inf	Rango Sup	Cant datos	Probabilidad P
0	16	20	38%
16	32	8	15%
32	48	5	10%
48	64	5	10%
64	80	6	12%
80	96	2	4%
96	112	1	2%
112	128	1	2%
128	144	1	2%
144	160	0	0%
160	176	2	4%
176	192	0	0%
192	208	0	0%
208	224	0	0%
224	240	0	0%
240	256	1	2%
		52	

Tabla 3.5 Asignación de probabilidad de los datos

Dado que la demanda no sigue una distribución normal ni se ajusta a modelos predefinidos, la discretización permite agrupar las demandas en intervalos específicos. La frecuencia relativa se utiliza para determinar la probabilidad de que una cantidad específica de producto sea demandada en un periodo dado.

De este modo, al analizar la frecuencia en la matriz de probabilidad, se calcula la probabilidad de que, dado un estado S (cantidad de unidades de producto en el inventario actual) y una acción a (cantidad de unidades ordenadas), el inventario en el siguiente periodo se ubique en un estado S' específico.

### 3.3. Ventajas y desventajas del método iteración de valor

- **Ventajas:**

Convergencia hacia la política óptima: La iteración de valor garantiza la convergencia hacia una solución óptima en problemas de decisión secuencial, proporcionando la política que maximiza la recompensa acumulada a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental en la optimización de inventarios.

Flexibilidad en la modelización de problemas complejos: Este método permite modelar y resolver problemas con incertidumbre y dinámicas estocásticas, como la demanda variable en un almacén, al considerar las probabilidades de transición y las recompensas asociadas a las acciones.

- Desventajas:

Discretización: El método requiere discretizar tanto los estados como las acciones, lo que puede generar intervalos arbitrarios, como los basados en la demanda, que no siempre reflejan con precisión la variabilidad real del sistema. Esto puede afectar la precisión de la solución en problemas con alta variabilidad.

Alto costo computacional: En problemas con grandes espacios de estados y acciones, el proceso iterativo de actualización puede ser computacionalmente costoso, especialmente si se requiere un número elevado de iteraciones para lograr la convergencia.

### **3.4. Lenguaje de programación utilizado**

Dado lo antes mencionado, se implementará el modelo de gestión de inventarios utilizando el lenguaje de programación Python. Este lenguaje se ha elegido debido a su facilidad de entendimiento y su amplia adopción en el ámbito académico y profesional. Además, Python ofrece una gran versatilidad, soportando diversas bibliotecas y herramientas que facilitan la implementación de algoritmos complejos como la programación dinámica y la discretización de la demanda. Su simplicidad y capacidad para manejar tareas computacionales complejas hacen de Python una opción ideal para desarrollar el modelo propuesto, optimizando tanto el tiempo de desarrollo como la interpretación de los resultados.

### **3.5. Resultados obtenidos**

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos tras la ejecución del modelo de programación dinámica implementado en Python, considerando la demanda histórica de los productos clasificados como categoría A, los cuales son fundamentales para la elaboración del proyecto. El objetivo principal de este análisis es determinar políticas de inventario óptimas que permitan a la empresa gestionar de manera eficiente sus niveles de stock en el almacén, garantizando así una disponibilidad adecuada de productos y minimizando los costos asociados al manejo del inventario.

A través de estos resultados, se busca proporcionar una herramienta estratégica que facilite la toma de decisiones en relación con la gestión del inventario, contribuyendo al establecimiento de un sistema que no solo sea eficiente, sino también alineado con las necesidades operativas y comerciales de la empresa.

#### **3.5.1. Entrada del programa**

A continuación, se detallan los parámetros de entrada que serán utilizados para la generación de los resultados del modelo basado en programación dinámica. Estos inputs permitirán la obtención de resultados relevantes al ser procesados mediante el lenguaje de programación Python. La definición y estructuración adecuada de estos datos iniciales es fundamental para garantizar que el modelo refleje con precisión las condiciones reales del

sistema y proporcione información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de inventarios.

- **Tabla de frecuencias productos categoría A**

La tabla de frecuencias de los productos clasificados en la categoría A proporciona información clave sobre la recurrencia de los estados o las ventas realizadas en una unidad de tiempo, expresada en términos porcentuales. Al introducir esta tabla en el algoritmo, se estima la frecuencia correspondiente en la matriz de probabilidad, lo que permite predecir la cantidad de unidades que estarán disponibles en el siguiente período. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta el stock o estado actual, así como la cantidad de unidades ordenadas para reabastecer el inventario. De este modo, el modelo es capaz de proyectar la evolución de las existencias de manera precisa y ajustar las decisiones de inventario en función de la demanda estimada. A continuación, se muestra la tabla (3.6), tomando el ejemplo del producto, se determina los rangos y probabilidad a utilizar.

Descripcion	Rango inf	Rango Sup	Probabilidad
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	0	16	0,38
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	16	32	0,15
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	32	48	0,10
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	48	64	0,10
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	64	80	0,12
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	80	96	0,04
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	96	112	0,02
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	112	128	0,02
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	128	144	0,02
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	144	160	0,00
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	160	176	0,04
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	176	192	0,00
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	192	208	0,00
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	208	224	0,00
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	224	240	0,00
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	240	256	0,02

Tabla 3.6 Tabla frecuencias producto silla niña fucsia pastel

- **Inventario máximo a ordenar y almacenar**

El inventario máximo se define como la cantidad máxima de unidades que se pueden almacenar en la bodega, en el presente caso, como se muestra en la tabla (3.7), se tomará en consideración la cantidad máxima a ordenar de todos los productos de categoría A. Para el inventario máximo a ordenar se determina tomando como referencia la cantidad máxima que se puede fabricar de cada producto, considerando los datos históricos de fabricación de los productos analizados. Aunque no se establece un límite total para la capacidad de almacenamiento de la bodega, se impone un límite específico para la producción de cada producto en función de su demanda y capacidad de fabricación. Este enfoque permite gestionar de manera más eficiente el proceso de producción y almacenamiento,

optimizando el uso de recursos y evitando excesos de inventario que podrían generar costos adicionales.

ARTÍCULO	Max_inventario	Max_orden
SILLA NIÑA FUCSIA PASTEL	240	90
BAÑERA CELESTE	360	180
BAÑERA VERDE	360	180
BACINILLA AMARILLO PASTEL	540	270
BACINILLA CELESTE	540	270
BACINILLA FUCSIA	540	270
BACINILLA ROSADO	540	270
BACINILLA VERDE	540	270
CESTO BLANCO	360	180
CESTO CREMA	360	180
CESTO FUCSIA	360	180
...	...	...

Tabla 3.7 Tabla máximo inventario en bodega y cantidad a ordenar

- **Costos asociados al modelo**

Dentro de los costos asociados al modelo, se consideran principalmente el costo de tener un quiebre de stock, costo de almacenamiento y el costo de ordenar una o varias unidades a la fábrica. No obstante, para el presente proyecto, no se ha autorizado el acceso a la información detallada sobre los costos, ya que estos datos son estrictamente confidenciales. En este sentido, para la ejecución del modelo, se recurrirá al uso de costos referenciales, los cuales, aunque no sean los valores exactos, permiten realizar una simulación representativa de la aplicación del modelo.

El costo asociado a un quiebre de stock se definirá como el valor de una venta no realizada, es decir, el valor del producto que no pudo ser vendido debido a la falta de inventario. Dado el número de productos a evaluar, se utilizará un promedio del precio de venta de todos los productos, el cual se estima en \$8.

Por otro lado, el costo de ordenar se determinará en función de la participación de los trabajadores en el proceso de fabricación del producto. En este contexto, se identificaron un total de siete colaboradores que intervienen en las distintas etapas, desde la solicitud de materia prima hasta la transformación en el producto final y su posterior transferencia a la bodega de productos terminados. A partir de este análisis, se estima que el costo de ordenar es de \$2 independiente de la cantidad a ordenar.

Finalmente, el costo de almacenamiento se calculará tomando en cuenta el total de unidades almacenadas durante el último mes, y dividiéndolo por el salario de los colaboradores encargados del almacenamiento de la mercancía en la bodega. En este caso, dicho costo se estima en \$1 por unidad, como se observa en la tabla (3.8), obtendremos los costos asociados al modelo.

Costo Quiebre de Stock	\$8,00
Costo de Ordenar	\$2,00
Costo de Almacenar	\$1,00
Factor de Descuento	0.95

Tabla 3.8 Tabla costos utilizados en el modelo

- **Factor de descuento**

Para la evaluación del modelo, es necesario establecer un factor de descuento, el cual representa un parámetro clave que determina la relevancia de las recompensas futuras en relación con las recompensas inmediatas. En este proyecto, se ha decidido utilizar un valor cercano a 1, específicamente 0.95, con el fin de otorgar una importancia significativa a las recompensas futuras, sin dejar de considerar el valor de las recompensas inmediatas.

Este valor de 0.95 se selecciona estratégicamente para equilibrar la influencia de las recompensas a corto y largo plazo, lo que favorece una convergencia más estable de los valores del modelo. Un factor de descuento de esta magnitud permite que el modelo tenga en cuenta las posibles consecuencias futuras sin desviarse demasiado de los beneficios inmediatos.

### 3.5.2. Generación de política

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la ejecución del modelo de programación dinámica, el cual ha permitido determinar la política óptima para la gestión del inventario. Esta política establece la cantidad de unidades de producto que deben ser solicitadas para reponer el inventario, considerando factores clave como las ventas históricas, la capacidad de almacenamiento, los costos asociados al almacenamiento y la ordenación de productos, así como el nivel de demanda proyectado. Los resultados generados provienen de un análisis que compara cada posible combinación entre el estado o inventario actual, las acciones recomendadas (es decir, la cantidad a pedir) y el estado futuro del stock.

La tabla (3.9) presenta los resultados obtenidos para el producto "silla niña fucsia pastel". En ella, se establece la cantidad a solicitar en función del nivel de inventario (stock). Se observa que la probabilidad de demanda se encuentra en un rango de 0 a 16 unidades, con una probabilidad del 38%. En este escenario, se recomienda solicitar 24 unidades cuando el nivel de stock sea bajo. A medida que el inventario aumenta, la cantidad a solicitar disminuye de manera significativa.

ESTADO	CANTIDAD MAX ORDENAR
0	24
10	24
20	24
30	24
40	24
50	24
60	24

70	24
80	23
90	22
100	21
110	20
120	19
130	18
140	17
150	16
160	15
170	14
180	13
190	12
200	11
210	10
220	5
230	5
240	5

Tabla 3.9 Resultado obtenido generación política

### 3.6. Análisis financiero

Una vez implementado el modelo de programación dinámica, se llevó a cabo una revisión de la eficiencia del modelo, así como de los resultados obtenidos en cuanto a las cantidades a ordenar. El objetivo principal de esta evaluación fue verificar si el modelo propuesto es capaz de minimizar los quiebres de stock y, al mismo tiempo, reducir los costos asociados tanto a la adquisición de productos como a su mantenimiento en el inventario.

Para realizar el análisis financiero, se seleccionaron los productos pertenecientes a la categoría A, aquellos de mayor relevancia para la empresa. En este contexto, se analizaron las cantidades máximas a ordenar determinadas por el modelo. Este análisis permitió obtener una visión de los beneficios potenciales del modelo propuesto, identificando si efectivamente se logra una mejora en la eficiencia operativa y financiera.

Para un análisis comparativo con la situación real, se puede obtener el total vendido, cantidad fabricado y las unidades al final de cada período y comparar con lo obtenido del modelo, de esta manera se obtendrá el porcentaje de ahorro de un determinado producto. En el caso del presente proyecto, no fue posible obtener los valores reales de las unidades de la empresa al final de los períodos debido a restricciones de confidencialidad. Por lo tanto, se presentan los resultados derivados de la implementación de la política generada.

- **Costo por ordenar**

En esta sección se lleva a cabo un análisis de los costos asociados con ordenar una unidad de producto. En el proceso operativo actual, se realiza un pedido de productos que serán almacenados y utilizados a lo largo de varios períodos, la cual es fijo de 90 unidades para

el producto a estudiar mostrado en la tabla (3.10). Este análisis tiene en cuenta el costo previamente definido para la generación de orden de cada unidad, del cual podemos obtener el costo de ordenar una determinada cantidad en un estado dado.

Como se evidencia a partir de los resultados obtenidos tras la implementación del modelo, se observa que, mediante el uso del modelo, se optimiza la cantidad de unidades ordenadas, garantizando que solo se adquieran las necesarias para satisfacer la demanda, evitando así el exceso de inventario y los costos adicionales asociados.

ESTADO	Calculado	
	CANTIDAD MAX ORDENAR	\$ ORDENAR
0	24	\$ 48,00
10	24	\$ 48,00
20	24	\$ 48,00
30	24	\$ 48,00
40	24	\$ 48,00
50	24	\$ 48,00
60	24	\$ 48,00
70	24	\$ 48,00
80	23	\$ 46,00
90	22	\$ 44,00
100	21	\$ 42,00
110	20	\$ 40,00
120	19	\$ 38,00
130	18	\$ 36,00
140	17	\$ 34,00
150	16	\$ 32,00
160	15	\$ 30,00
170	14	\$ 28,00
180	13	\$ 26,00
190	12	\$ 24,00
200	11	\$ 22,00
210	10	\$ 20,00
220	5	\$ 10,00
230	5	\$ 10,00
240	5	\$ 10,00

Tabla 3.10 Resultado del costo por ordenar

- **Costo de almacenar**

En cuanto al costo de almacenamiento, el modelo implementado muestra que no es necesario realizar pedidos basados en la cantidad máxima de la orden de fabricación. En su lugar, el modelo genera pedidos únicamente por la cantidad necesaria para satisfacer la

demanda proyectada. Como resultado de esta optimización, observamos en la tabla (3.11) el costo de almacenamiento experimenta una reducción significativa, lo que permite un uso más eficiente del espacio disponible en la bodega. La cantidad a solicitar por el costo de almacenar previamente definido, nos da el costo de almacenar la cantidad solicitada en el almacén.

ESTADO	Calculado	
	CANTIDAD MAX ORDENAR	\$ ALMACENAR
0	24	\$ 24,00
10	24	\$ 24,00
20	24	\$ 24,00
30	24	\$ 24,00
40	24	\$ 24,00
50	24	\$ 24,00
60	24	\$ 24,00
70	24	\$ 24,00
80	23	\$ 23,00
90	22	\$ 22,00
100	21	\$ 21,00
110	20	\$ 20,00
120	19	\$ 19,00
130	18	\$ 18,00
140	17	\$ 17,00
150	16	\$ 16,00
160	15	\$ 15,00
170	14	\$ 14,00
180	13	\$ 13,00
190	12	\$ 12,00
200	11	\$ 11,00
210	10	\$ 10,00
220	5	\$ 5,00
230	5	\$ 5,00
240	5	\$ 5,00

Tabla 3.11 Resultado costo por almacenar

- **Costo quiebre de stock**

Para el costo por quiebre de stock, se toma en consideración cuando la empresa no cuenta con suficiente inventario para satisfacer la demanda de los clientes. Este costo se calcula tomando como referencia el valor de una venta no realizada debido a la falta de productos disponibles. En el presente proyecto, se estima que el costo por quiebre de stock corresponde a la oportunidad de venta perdida por no poder cumplir con la demanda en el momento adecuado.

Para su cálculo, se ha considerado el precio promedio de venta de los productos, estimado en \$8 por unidad. Este monto refleja la pérdida directa que la empresa experimenta por cada unidad que no se puede vender debido a la falta de inventario. Sin embargo, es importante señalar que, además de la pérdida inmediata de ingresos, el quiebre de stock puede generar consecuencias adicionales, como la pérdida de confianza de los clientes, quienes podrían recurrir a la competencia, afectando negativamente la reputación y fidelidad de la empresa a largo plazo.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

El análisis del manejo de inventarios permitió identificar diversas áreas críticas, entre las cuales destacan los excesos de stock y los quiebres de inventario. En el caso de los excesos de stock, se observa que se solicita la cantidad máxima de producto, lo cual contribuye a un desajuste en la gestión. Por otro lado, los quiebres de inventario son responsables de que el indicador OTIF (On Time In Full) no alcance la meta propuesta del 90%, lo que genera costos adicionales. Además, se evaluaron los datos históricos de demanda para comprender las fluctuaciones y estacionalidades, lo que proporcionó una base sólida para la optimización del sistema de gestión. Al analizar estos datos, se evidenció que la demanda no sigue una distribución estándar. Por esta razón, se concluyó que es necesario aplicar una metodología basada en programación dinámica para mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios.

La implementación del sistema de clasificación ABC permitió segmentar los productos en categorías, donde, 73 de los productos pertenecen a la categoría A, los cuales representan un 80% de las ventas totales de la empresa. Lo que facilitó la priorización de los productos clave, donde se concentran los productos de mayor valor y demanda, se enfocó la optimización del inventario. Este sistema mejoró el control y visibilidad del inventario, lo que permitió una toma de decisiones más estratégica en cuanto a la reposición y almacenamiento de productos.

El desarrollo de políticas de inventario para los productos clasificados en la categoría A fue indispensable. Se generaron políticas de reabastecimiento específicas para asegurar que el stock se mantuviera equilibrado según la demanda proyectada basado en un modelo de programación dinámica. En donde, se obtiene la cantidad a solicitar, dado un estado o stock de inventario, minimizando los costos de almacenamiento y los quiebres de stock. Estas políticas contribuyeron a una gestión más eficiente del inventario y aseguraron la disponibilidad de productos sin incurrir en costos innecesarios.

Se realizó la implementación del algoritmo basado en un modelo de programación dinámica en el lenguaje de programación Python. El algoritmo toma como entrada los parámetros necesarios para el modelo, como lo son: tabla de frecuencias de la demanda analizada, unidades máximas a ordenar, unidades máximas por almacenar y los costos asociados al

modelo. Luego de la corrida del programa, nos da como resultado o salida del programa, la cantidad a ordenar según el estado o nivel de inventario en el que nos encontremos.

## **4.2. Recomendaciones**

Es fundamental contar con datos históricos de demanda lo más completos y actualizados posible para garantizar la precisión de la discretización y la posterior optimización del inventario. Los datos deben ser recopilados de manera sistemática y organizada para facilitar su análisis y evitar sesgos que puedan afectar los resultados del modelo.

Se recomienda adaptar la discretización de la demanda a las características específicas del producto y del entorno de la empresa. Si bien este proyecto utilizó intervalos adaptativos para la demanda, es importante evaluar distintas opciones de discretización para ver cuál optimiza mejor los resultados según el tipo de negocio y su comportamiento de ventas.

Las políticas de inventario desarrolladas deben ser revisadas y actualizadas regularmente, especialmente en mercados con alta volatilidad o cambios en el comportamiento de la demanda. Esto asegura que el modelo continúe alineado con las necesidades reales del negocio, permitiendo ajustes oportunos en las decisiones de inventario.

Para futuras implementaciones de este modelo, es recomendable asegurarse de que el algoritmo sea escalable y pueda adaptarse al crecimiento de la empresa, tanto en términos de productos como en la complejidad de la demanda. Considerar la posibilidad de integrar el modelo con sistemas de gestión empresarial (ERP) puede mejorar la eficiencia operativa a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Richards, G. (2018). *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse* (3rd ed.). Kogan Page.
- Mauleón, M. T. (2003). *Sistemas de Almacenaje y Picking* (1ra ed.). Díaz de Santos.
- Portal Rueda, C. A. (2005). *Costos Logísticos: Fundamentos, Conceptos y Métodos* (1ra ed.). Editorial Académica Española.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* (5ta ed.). Pearson Educación.
- Parmenter, D. (2019). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs* (4th ed.). Wiley.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2014-2015). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). A Bradford Book.
- Puterman, M. (2005). *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*. Wiley.
- Gosavi, A. (2010). *Simulation-Based Optimization: Parametric Optimization Techniques and Reinforcement Learning*. Kluwer Academic.

