

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

“Diseño de políticas de inventario de producto terminado para una empresa procesadora de mariscos de la ciudad de Guayaquil.”

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero(a) en Logística y Transporte**

Presentado por:

Miguel Alfonso Waibel Velásquez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

# Dedicatoria

El proyecto y cada una de las horas invertidas en su investigación y ejecución están dedicados a todas aquellas personas que confiaron en mí y me apoyaron durante toda mi etapa universitaria. Sin Uds. no habría podido alcanzar este logro, ni podría sentar las bases para metas más grandes que pienso alcanzar.

Miguel Waibel Velásquez

# Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento al tutor por todo el tiempo invertido en guiarme y aconsejarme para finalizar de la mejor manera este proyecto de tesis.

Sobre todo, agradezco a mi familia, a mi esposa y a mi hija que son el motor que me impulsa hacia adelante y me llevan a lograr cada objetivo que me propongo.

Miguel Waibel Velásquez

# Declaración Expresada

«Los derechos de titularidad y explotación, me corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Miguel Alfonso Waibel Velásquez da su consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.»



.....

Miguel Alfonso Waibel Velásquez

Autor

# Evaluadores

.....  
**MSc. Carlos Ronquillo**

Profesor de la materia

.....  
**PhD. Carlos Aníbal Suárez**

Profesor tutor

# Resumen

Una empresa dedicada a la producción y venta de mariscos requiere la mejora de sus políticas de inventario para la bodega de producto terminado. Por lo tanto, es necesario la implementación de un método que diseñe la política óptima para el reabastecimiento para poder reducir las ventas perdidas, costos y aumentar el nivel de servicio.

Previo al diseño de la política, se realizó un análisis a los productos que oferta actualmente la empresa y se clasificó el inventario usando un análisis ABC en base al volumen de ventas. Posteriormente, se analizó la demanda de los productos, se determinó la distribución de frecuencias con la que se vendían cierta cantidad de libras para poder trabajar con una matriz de probabilidades. Acorde a las condiciones del giro del negocio, se seleccionaron dos algoritmos de Programación Dinámica que se adaptaban perfectamente al problema y se los implementó en Python.

Los algoritmos analizaron las posibles combinaciones entre estados actuales y futuros del inventario y las posibles acciones que se pueden tomar respecto al reabastecimiento. Como resultado, se obtuvieron políticas para cada producto analizado. Dichas políticas garantizan que la empresa no presentará quiebres de inventario.

Se concluye que, con el correcto análisis de la demanda y la implementación de políticas óptimas de inventario, la empresa podría reducir considerablemente costos y la pérdida de ventas alcanzando a su vez el nivel de servicio deseado.

**Palabras clave:** Política de inventario, programación dinámica, ventas perdidas, reducir costos, demanda.

# **Abstract**

*A company dedicated to the production and sale of shellfish requires the improvement of its inventory policies for the finished product warehouse. Therefore, it is necessary to implement a method that designs the optimal policy for replenishment to reduce lost sales, costs and increase the level of service.*

*Prior to the design of the policy, an analysis of the products currently offered by the company was carried out and the inventory was classified using an ABC analysis based on sales volume. Subsequently, the demand for the products was analyzed, the frequency distribution with which a certain number of pounds were sold was determined in order to work with a probability matrix. According to the business conditions, two Dynamic Programming algorithms that perfectly adapted to the problem were selected and implemented in Python.*

*The algorithms analyzed the possible combinations between current and future states of inventory and the possible actions that can be taken regarding replenishment. As a result, policies were obtained for each analyzed product. These policies guarantee that the company will not present inventory breaks.*

*It is concluded that, with the correct analysis of the demand and the implementation of optimal inventory policies, the company could considerably reduce costs and the loss of sales, reaching the desired level of service.*

**Keywords:** *Inventory policy, dynamic programming, lost sales, reduce costs, demand.*

# ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos .....	3
Declaración Expresada.....	4
Evaluadores.....	5
Resumen .....	6
<i>Abstract</i> .....	7
ÍNDICE GENERAL.....	I
ABREVIATURAS .....	III
GLOSARIO .....	IV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
CAPÍTULO 1 .....	9
1. Introducción .....	9
1.1 Descripción del problema .....	10
1.2 Justificación del problema.....	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo General .....	11
1.3.2 Objetivos Específicos .....	11
1.4 Marco teórico .....	12
1.4.1 Marco conceptual.....	12
1.4.2 Estado del arte .....	27
Capítulo 2 .....	31
2. METODOLOGÍA .....	31
2.1 Técnicas de investigación.....	31

2.1.1	Levantamiento de información .....	31
2.1.2	Análisis de la información levantada: Situación actual.....	32
2.2	Recopilación de datos.....	33
2.3	Descripción de modelos con datos obtenidos.....	45
2.4	Uso de software.....	50
2.4.1	Microsoft Excel.....	50
2.4.2	Python.....	50
2.5	Consideraciones legales y éticas.....	51
2.6	Plan de trabajo.....	51
Capítulo 3	.....	52
3.	Resultados y análisis .....	52
3.1	Análisis de la demanda.....	52
3.2	Análisis de las instancias .....	53
3.2.1	Obtención de Política usando el algoritmo de Iteración de Valor .....	54
3.2.2	Obtención de Política usando el algoritmo de Iteración de Política.....	55
3.3	Análisis Gráfico de los resultados.....	55
3.4	Simulación .....	56
3.5	Análisis económico .....	57
3.5.1	Análisis para el costo de ordenar .....	57
3.5.2	Análisis para los costos de mantener producto en inventario .....	58
Capítulo 4	.....	60
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	60
4.1	Conclusiones .....	60
4.2	Recomendaciones .....	61
Anexos	.....	62
BIBLIOGRAFÍA	.....	67

# ABREVIATURAS

**SKU** Unidad de Mantenimiento de Existencias

# GLOSARIO

<b>MERCANCÍA</b>	Bien o activo que una empresa destina para la venta
<b>DEMANDA</b>	Cantidad de mercancía solicitada por los clientes en un periodo de tiempo
<b>SKU</b>	Código único de cada mercancía

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1 Representación clásica de una cadena de suministro .....	13
Figura 1.2 Procesos de una cadena de suministro como enfoque de ciclos .....	14
Figura 2.1 Productos con mayor demanda .....	33
Figura 2.2 Análisis durante el año del producto «MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.» .....	34
Figura 2.3 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD» .....	35
Figura 2.4 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD» .....	36
Figura 2.5 Análisis durante el año del producto «MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong» .....	37
Figura 2.6 Análisis durante el año del producto «PT Dorado Pieces» .....	38
Figura 2.7 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD» .....	39
Figura 2.8 Análisis durante el año del producto «PT Calamar Cuerpo M Cong».....	40
Tabla 2.9 Análisis durante el año del producto «PT Dorado Fletch L Cong».....	41
Figura 2.10 Análisis durante el año del producto «PT Atún TrozosBE7-20L Cong.» .	42
Figura 2.11 Análisis durante el año del producto «CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB» .....	43
Figura 2.12 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD» .....	44
Figura 3.1 Visualización de la mejora de la política para el producto PT-ATN-030 ...	55

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Demanda diaria del producto «MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.» en libras ....	34
Tabla 2.2 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD» en libras .....	35
Tabla 2.3 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD» en libras .....	36
Tabla 2.4 Demanda diaria del producto «MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong» en libras.....	37
Tabla 2.5 Demanda diaria del producto «PT Dorado Pieces» en libras.....	38
Tabla 2.6 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD» en libras .....	39
Tabla 2.7 Demanda diaria del producto «PT Calamar Cuerpo M Cong» en libras ....	40
Tabla 2.8 Demanda diaria del producto «PT Dorado Fletch L Cong» en libras .....	41
Tabla 2.9 Demanda diaria del producto «PT Atún TrozosBE7-20L Cong.» en libras	42
Figura 2.10 Demanda diaria del producto «CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB» en libras .....	43
Tabla 2.11 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD» en libras .....	44
Tabla 3.1 Tabla de intervalos y frecuencias de ventas para el producto PT-ATN-027 .....	53
Tabla 3.2 Políticas de inventario para los productos 0068-016 y PT-ATN-030 (cantidades en libras).....	54
Tabla 3.3 Simulación para el producto PT-ATN-027 (cantidades en libras) .....	56
Tabla 3.4 Tabla de costos.....	57
Tabla 3.5 Análisis de costos de ordenar para los productos de categoría A. ....	58
Tabla 3.6 Análisis de los costos de mantener una unidad en inventario para los productos de categoría A.....	59

Tabla 3.7 Políticas para los productos MP-ATN-001, PT-ATN-027 y PT-ATN-029 (cantidades en libras).....	62
Tabla 3.8 Políticas para los productos MP-ATN-010, PT-DRD-096 y PT-ATN-028 (cantidades en libras).....	63
Tabla 3.9 Políticas para los productos PT-CLM-002, PT-DRD-046 y PT-ATN-003 (cantidades en libras).....	64
Tabla 3.9 Políticas para los productos 0068-016 y PT-ATN-030 (cantidades en libras) .....	65
Tabla 3.10 Detalle de los productos de la categoría A.....	66



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La logística abarca todas las operaciones que garanticen cumplir la distribución del producto requerido por el consumidor desde un origen a un destino, satisfaciendo las necesidades del cliente. Se encarga del abastecimiento y gestión de materia prima, la distribución de productos y el flujo de información en todo el ciclo de producción. Una logística integrada proporciona a la empresa una ventaja competitiva en el mercado que le permite minimizar costos, mejora en nivel de servicio y calidad de procesos internos.

Una de las herramientas dentro de la logística empresarial que ayuda a la reducción de costos y a elevar de manera significativa la competitividad es la planeación de la demanda/oferta. La planeación proporciona al Gerente y al equipo administrativo de la empresa la capacidad de ser proactivos y de gestionar correctamente el inventario asegurándose de que en el proceso se maximicen las utilidades y aumente el nivel de servicio.

La planeación de la demanda/oferta forma parte de las denominadas «Políticas de inventario» y son aquellas directrices o métodos que la empresa implementa para administrar sus recursos. Es decir, las políticas de inventario se definen y se implementan para disponer de la cantidad óptima de mercancías sin incrementar los costos o afectar los niveles de disponibilidad de los productos que se ofertan. También tienen como objetivo la reducción de pérdidas, mermas o daños en las existencias de la empresa y la reducción de costos en el sistema de almacenamiento.

El proyecto tiene como finalidad, diseñar adecuadamente políticas de inventario que se adapten al modelo de negocio ya establecido y que puedan generar beneficios en los procesos de producción, abastecimiento y almacenamiento. Dichos beneficios se reflejarán en la utilidad operacional.

## 1.1 Descripción del problema

Pese a que la empresa cuenta con instalaciones adecuadas y un sistema de gestión que permite obtener importantes márgenes de ganancia, se han identificado oportunidades de mejora en la gestión logística. El proyecto se centró en el almacén de producto terminado, que presenta inconvenientes con la planificación de la demanda/oferta, reabastecimiento e indicadores de rendimiento.

La empresa no ha realizado los análisis de inventario basados en la información de la demanda. Por esta razón, no han establecido un nivel adecuado de stock y se carece de una frecuencia ideal de abastecimiento. Actualmente, uno de los indicadores para la planificación del reabastecimiento es la capacidad del almacén y, como no hay un control periódico sobre las existencias, suelen reportarse situaciones donde tienen más producto del que se necesita provocando mermas o pérdidas por deterioro. En la parte económica, el costo por mantener inventario va del 7% al 9%<sup>1</sup>, por lo que el gasto de no establecer correctamente los niveles de stock se eleva más de lo esperado.

La empresa incide en gastos cada vez más altos cuando registra porcentajes fuera del rango permitido en el deterioro de las existencias. Cuando el producto se maltrata o pierde calidad, la empresa trata de recuperarlo enviándolo, haciendo uso de la logística inversa, a la planta procesadora para tratar de mejorar su presentación y que se pueda vender.

En ciertas ocasiones, el exceso de existencias en la bodega no es un problema, sino todo lo contrario. Hay periodos donde la empresa suele tener un nivel de stock que no es suficiente para cubrir la demanda y, al no tener establecido un stock de seguridad, registran ventas perdidas por falta de existencias.

Pese a que los productos que ofertan son muy solicitados debido al tipo de gastronomía que ofrece nuestro país, la empresa no conoce ni tiene indicios sobre cuál es el nivel de servicio que se ofrece al consumidor. Por lo detallado anteriormente, la administración

---

<sup>1</sup> Datos obtenidos en entrevistas con la administración de la empresa.

necesita con urgencia la implementación de políticas que ayuden a gestionar su inventario correctamente, para reducir costos y aumentar la satisfacción del consumidor.

## **1.2 Justificación del problema**

Diseñar políticas que permitan a la empresa reducir su inventario de ciclo, establecer niveles adecuados de stock para evitar pérdidas por deterioro y cumplir con la demanda para aumentar beneficios económicos. Las políticas deben garantizar la cantidad óptima de las existencias en la bodega sin incrementar los costos y sin alterar los niveles de disponibilidad del producto para elevar el grado de servicio a los valores deseados por la gerencia.

Las políticas propuestas se desarrollaron tomando en cuenta las limitaciones y requerimientos propuestos por la empresa como el aumento del nivel de servicio que ofrecen sus productos. Se analizó la variabilidad y estacionalidad de la demanda, la influencia de factores externos como los canales de distribución y las restricciones propias de la naturaleza de los productos como su tiempo de caducidad.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Diseñar políticas de inventario para una bodega de producto terminado, mediante el análisis de la demanda histórica y la implementación de algoritmos de Programación Dinámica para reducir costos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual respecto al manejo de inventarios y al flujo de información aplicando técnicas de investigación para identificar oportunidades de mejora.

- Categorizar los productos que oferta la empresa en base a su índice de rotación usando técnicas de clasificación del inventario.
- Diseñar un método para la gestión de inventarios que ayude a reducir los costos de almacenamiento.
- Validar los resultados obtenidos para verificar si las políticas de inventario propuestas cumplen con el objetivo general del proyecto y de la empresa.

## **1.4 Marco teórico**

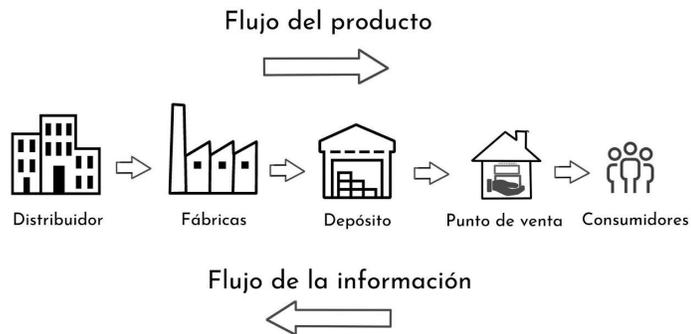
En esta sección se definirán términos claves para entender cómo se desarrollan políticas para la correcta gestión del inventario. La revisión de material bibliográfico y de trabajos e investigaciones previos, ayudan a una mejor comprensión de toda la terminología usada a lo largo del desarrollo del proyecto.

### **1.4.1 Marco conceptual**

#### **1.4.1.1 Cadena de suministro**

(Chopra & Peter, 2008) definen a la cadena de suministro como la agrupación de todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta para satisfacer la solicitud de un cliente. Típicamente, una cadena de suministro está formada por productores y distribuidores de materia prima, fabricantes, almacenistas, distribuidores o mayoristas, detallistas e, incluso, se considera al cliente como el eslabón final de esta estructura.

**Figura 1.1 Representación clásica de una cadena de suministro**



#### **1.4.1.2 Objetivo de la cadena de suministro**

«El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado.» (Chopra & Peter, 2008) Podríamos definir ese valor generado como la diferencia entre el precio final del servicio o producto y los costos generados por cada proceso dentro de cada eslabón de la cadena de suministro para cumplir con el requerimiento de éste. Entre los objetivos específicos de cada eslabón que compone la cadena tenemos:

- Lograr una eficaz comunicación y colaboración entre los eslabones de la cadena.
- Ofertar productos o servicios de calidad al usuario final.
- Optimizar los procesos desde el abastecimiento hasta el reparto de los productos a los clientes finales para satisfacer sus necesidades.
- Anticiparse los cambios constantes del mercado para elevar el nivel competitivo.

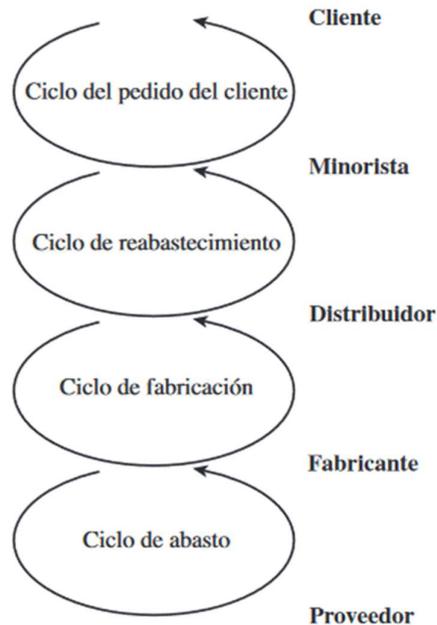
#### **1.4.1.3 Procesos de una cadena de suministro como enfoque de ciclo**

Este enfoque divide los procesos en ciclos que se desarrollan entre dos eslabones sucesivos de la cadena de suministro. Generalmente, tomando en cuenta una clásica cadena de suministro, podemos describir 4 ciclos importantes (figura 1.2):

- Ciclo de pedido del cliente
- Ciclo de reabastecimiento
- Ciclo de fabricación

- Ciclo de abasto

**Figura 1.2 Procesos de una cadena de suministro como enfoque de ciclos**



El enfoque de ciclo ayuda a establecer con claridad las decisiones operacionales y especifica las funciones que cada miembro de la cadena de suministro debe realizar para maximizar el valor total generado.

#### **1.4.1.4 Sistema de clasificación de productos**

El sistema de clasificación de producto consiste en tener en orden los productos que mayor rentabilidad tiene una empresa, para la clasificación existen variables como: las ventas del producto, tiempo de vida del producto. “Una gran cantidad de empresas maneja inventarios grandes y otras manejan inventarios pequeños, ante la flexibilidad de los códigos con mayor requerimiento se debe estar atenta a que haya suficiente reabastecimiento, cuidando la parte de sobre existencia.” (Macías Acosta, León Resendiz, & Limón Lozano, 2019).

Existen algunos métodos, entre los más importantes: la clasificación o análisis ABC de los productos.

#### **1.4.1.5 Análisis ABC de inventarios**

El método o análisis ABC es de mucha utilidad para clasificar el inventario y mantenerlo ordenado de cierta manera. El método toma en cuenta la importancia de los productos para la empresa, su valor, sus costos, su rotación y otros aspectos, incluidos los físicos, para así poder categorizarlos en base a criterios que den apoyo a los procesos operacionales de la empresa.

El método ABC se basa en «el principio 80/20», donde el 20% de los productos, aunque rara vez es exactamente 20%, representan o aportan un 80% de beneficios a la empresa. Los artículos dentro de la clasificación A, o artículos A, son los que presentan mayor índice de rotación, los artículos B presentan un índice de rotación medio y los artículos C un índice de rotación bajo. (Ballou, 2004)

#### **1.4.1.6 Distribución de frecuencias**

Suelen ser arreglos o tablas que permiten visualizar la distribución que sigue un grupo de datos mediante sus frecuencias. Permiten el análisis de variables de tipo cualitativas y cuantitativas. También nos permite mostrar de manera ordenada los datos y expresar las características que sigue la distribución de una muestra o población numérica y gráficamente.

##### **1.4.1.6.1 Frecuencia Absoluta**

La frecuencia absoluta es una medida estadística y representa el número de veces que un valor se repite, o que sucede un evento, dentro de un grupo de datos o un experimento. La suma de las frecuencias absolutas de los valores, o eventos, debe de coincidir con el número total de elementos, o eventos, del conjunto analizado.

#### **1.4.1.6.2 Frecuencia Relativa**

La frecuencia relativa de un evento, o valor, representa el porcentaje del número de veces que ese evento, o valor, se repite en el conjunto analizado. Es decir, es el valor de la frecuencia absoluta entre el número total de datos, o eventos, en el conjunto o espacio muestral.

#### **1.4.1.7 Inventarios**

Según (Chopra & Peter, 2008) el inventario representa la materia prima, la materia o bienes que están siendo procesados y los bienes terminados dentro de las múltiples etapas de la cadena de suministro.

Cuando la empresa decide cambiar drásticamente sus políticas de inventario, esta se ve afectada perdiendo eficiencia y capacidad de respuesta.

#### **1.4.1.8 Política de inventario**

La política de inventarios es fundamental para el control y supervisión de los productos, cuando se tiene un control adecuado se puede establecer indicadores para saber la situación actual del eslabón final de la cadena de suministro. Un punto primordial para establecer una política de inventario saber que se origina desde la demanda y para tener información existen dos definiciones básicas como es la demanda independiente y demanda dependiente. La demanda independiente depende las necesidades del mercado o en otras palabras el consumo que se tiene estos productos. La demanda dependiente abarca sobre otra variable puede ser que estén sujetas a negociaciones y acuerdos entre clientes.

#### **1.4.1.9 Costos del inventario**

Existen tres costos básicos de inventario: costo de almacenamiento, costo de orden o reposición y costo por falta de producto en inventario. El costo de almacenamiento es el más importante depende del tamaño que haya de existencia en bodega, reconocer el

tiempo que estará, los cuidados que se debe realizar para mantener el producto en buen estado. El costo por orden o reposición influye los valores por transporte cuando existen daños en la presentación del producto. El costo de agotamiento es saber todo lo que se perdió por no vender el producto faltante en bodega.

#### 1.4.1.10 Programación Dinámica

La programación dinámica es un método de optimización matemático que consiste en simplificar un problema de gran complejidad en subproblemas más sencillos, llamados subestructuras óptimas, de manera recursiva.

#### 1.4.1.11 Variables, parámetros y ecuaciones necesarias para los algoritmos de Programación Dinámica

En esta sección se detalla toda la información necesaria para la implementación de algoritmos de Programación Dinámica. Se describen los *inputs* y parámetros, variables, las funciones que determinan los costos y que cuantifican o evalúan las políticas, así como las matrices que determinan las probabilidades de que sucedan ciertos eventos.

- **Información necesaria y parámetros:**

*t*: periodo

*C<sub>0</sub>*: Costo de ordenar

*C<sub>c</sub>*: Costo de mantener

*D<sub>t</sub>*: Demanda en *t* en libras

*p<sub>j</sub>*: Probabilidad de que se vendan *j* libras de producto ( $P(D_t = j) = p_j$ )

*M*: Capacidad del almacén en libras

*λ*: Factor de descuento = 0.95

- **Variables de estado y acción.**

$$S_{t+1} = S_t + a_t - D_t \quad (2.1)$$

Siendo  $S_{t+1}$  (variable de estado) el inventario para el periodo  $t + 1$ ,  $S_t$  sería el inventario actual y  $a_t$  la cantidad a ordenar.

Si  $D_t > S_t + a_t$ , entonces  $S_{t+1} = 0$ .

- **Matriz de probabilidad de transición**

Las matrices de probabilidad de transición definen las probabilidades de que un estado cambie a otro dependiendo de las condiciones del estado actual u otras causas que alteren su comportamiento.

La matriz de probabilidad de transición para los modelos propuestos se define de la siguiente manera:

«La probabilidad de tener cierta cantidad de unidades en el almacén en el siguiente periodo (estado  $S'$ ), dado que tenemos cierta cantidad de unidades hoy (estado  $S$ ) y ordenamos cierta cantidad de unidades (acción  $a$ )».

$$P(S'|S, a) = \begin{cases} 0, & \text{if } S' \in (S + a, M) \\ P_{S+a-S'}, & \text{if } S' \in (0, S + a) \wedge S + a \leq M \\ \sum_{j>S+a} P_j, & \text{if } S' = 0 \wedge S + a \leq M \end{cases} \quad (2.2)$$

- **Componentes de la función objetivo**

- **Costo de ordenar**

$$C_o(a_t) = \begin{cases} K + C(a_t), & \text{if } a_t > 0 \\ 0, & \text{if } a_t = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Donde

$K$ : costo fijo

$C$ : Costo unitario de producto

- **Costo de mantener producto en bodega**

$$C_c(S_t + a_t - D_t) \quad (2.4)$$

Donde  $S_t + a_t - D_t$  (2.1) son las libras de producto al final del día t.

- **Ingresos**

La función de ingresos viene dada por:

$$F_t(S_t + a_t) = E[\text{Min}(D_t, S_t + a_t) * \text{price}] \quad (2.5)$$

Donde

*price: valor de venta del producto*

Sea  $u = S_t + a_t$  y  $D_t = j$ .

Si  $u = S_t + a_t > D_t = j$ , entonces la función de ingresos viene dada por:

$$f(j) \equiv \text{price} * j \quad (2.6)$$

Esto sucede con una probabilidad de  $p_j$ .

Sin embargo, si la demanda excede el inventario, entonces la función de ingresos viene dada por:

$$f(u): \text{price} * u \quad (2.7)$$

Donde:

$$u = S_t + a_t \quad (2.8)$$

Y esto sucede con una probabilidad de:

$$q_u = \sum_{j=u}^{\infty} p_j \quad (2.9)$$

Entonces, la función de ingresos queda expresada de la siguiente manera:

$$F_t(u) = F_t(S_t + a_t) = \sum_{j=0}^{u-1} f(j) * p_j + f(u) * q_u \quad (2.10)$$

- **Función de beneficio**

El beneficio depende de la cantidad de libras con las que inicio el día  $t$  y la cantidad de libras que pido el día  $t$ .

La función de beneficio viene dada por la cantidad de libras que se vendió el día  $t$  (2.5) menos los costos asociados a las acciones de ordenar (2.3) y de mantener en bodega (2.4).

$$r_t(S_t, a_t) = E[\text{Min}(D_t, S_t + a_t) * \text{price}] - C_0(a_t) - C_c(S_t + a_t - D_t) \quad (2.11)$$

- **Políticas**

- Las reglas de decisión  $a_n(S_t)$ , en base a las cadenas de Markov, asignan una cantidad de libras a ser ordenadas ( $a_t$ ) a cada posible nivel inicial de inventario de cada periodo.
- Una **política** es una secuencia de aquellas reglas de decisión. Se denota como:

$$d_n = \{a_n(1), a_n(2), a_n(3), \dots, a_n(s)\}, \text{ hasta el enésimo estado.}$$

- **Ecuación de Bellman para horizonte de análisis finito**

### **Ecuación de Bellman para una función de estado-valor**

Esta ecuación relaciona el valor del estado actual,  $S$ , con los valores de los estados próximos,  $S_{n+1}$ . En otras palabras, esta ecuación nos obliga a analizar todas las posibles vías para llegar desde un estado  $S$  a otro  $S_{n+1}$ .

$$V_n(S) = \sum_a d(a|S) \sum_{S_{n+1}} r(S_{n+1}, a|S) [r + \lambda * V_d(S_{n+1})] \quad (2.12)$$

### **Ecuación de Bellman para una función de acción-valor**

Lo primero que se observa en esta ecuación, es que no forma parte de ella el componente que relaciona la política con la ecuación,  $\sum_a d(a|S)$ . Esto sucede porque en esta ecuación ya está especificada la acción a tomar como el estado.

La ecuación nos dice que, para un estado y acción dados,  $(S, a)$ , se analizan todas las posibles maneras de llegar a todos los posibles estados  $S_{n+1}$ .

$$q_n(S, a) = \sum_{S_{n+1}} p(S_{n+1}, r|S, a) [r + \lambda * V_d(S_{n+1})] \quad (2.13)$$

## 1.4.1.12 Algoritmos basados en Programación Dinámica

### 1.4.1.12.1 Iteración de la Política

Este algoritmo es la combinación de dos algoritmos en Programación Dinámica: «Evaluación de Política» y «Mejora de Política».

#### Evaluación de Política

Para obtener políticas óptimas, primeramente, se debe optar por el uso de técnicas que permitan cuantificar qué tan buena es la política propuesta. El algoritmo «Evaluación de política» es diseñado justamente para cumplir con esa tarea.

Esencialmente, la idea es: recibir como entrada una política y retornar valores obtenidos evaluando la «Ecuación de Bellman» (2.12). Para cumplir con esta tarea, el algoritmo necesita:

- Política ( $d$ ) (input)
- Espacios de estado ( $S$ )
- Matriz de probabilidad de transición (2.3)
- Función de beneficio (2.2)
- Factor de descuento ( $\lambda$ )
- Parámetro  $\epsilon$  para controlar la convergencia y el criterio de parada.

En cada iteración, cada valor obtenido mediante la «Ecuación de Bellman» (2.12) se va mejorando hasta que converge en un punto y no presenta una mejora considerable.

Cuando finaliza la ejecución del algoritmo, éste retorna para cada estado posible su valor asociado.

A continuación, se detalla en pseudocódigo el algoritmo «Evaluación de Política»:

## 1. Input

Regla de decisión a ser evaluada (política)  $d$ .

## 2. Evaluar la política

Establecer  $n = 0$ , un límite  $e$  y un arreglo  $V^{n+1}(S) = 0$ , para cada  $s \in S$

### 2.1. Calcular

**While** True:

**For**  $\forall s \in S$ :

$V^n(S) \leftarrow V^{n+1}(S)$

$V^{n+1}(S) \leftarrow r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|S, a) * V^n(S)$

### 2.2 Evaluar

**If**  $\|V^{n+1}(S) - V^n(S)\| \leq e$ :

**Return**  $V^{n+1}(S)$

**Break**

**Else:**

$n = n + 1$

Ir al paso 2.1.

## Mejora de Política

El algoritmo «Evaluación de Política» se limita solo a cuantificar qué tan buena es una política, pero no tiene la capacidad de mejorarla o hacerle cambios. Entonces, el algoritmo «Mejora de Política»:

1. toma una política,
2. la evalúa haciendo uso del algoritmo «Evaluación de Política»,
3. para cada estado y posible acción calcula el valor con la «Ecuación de Bellman» (2.13)
4. y retorna la política mejorada que será el mejor valor obtenido por la «Ecuación de Bellman» (2.13).

A continuación, se detalla en pseudocódigo el algoritmo «Evaluación de Política»:

### 1. Input

Regla de decisión a ser mejorada (política)  $d_n$ .

### 2. Mejorar política

**While** True:

    Política  $\leftarrow$  True

**For**  $s \in S$ :

$d_n \leftarrow d_{n+1}$

$d_{n+1} \leftarrow \arg \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|S, a) * V^n(j)\}$

**If**  $d_n \neq d_{n+1}$ :

        Política  $\leftarrow$  False

3. If Política:

Break and return  $d_{n+1}$

Else:

go to 2.

Habiendo definido los algoritmos «Evaluación de Política» y «Mejora de Política», ahora se definirá cómo la combinación de estos algoritmos encuentra la política óptima.

### Iteración de Política

El algoritmo «Evaluación de Política» cuantifica las propiedades de la política, haciendo uso de una función estado-valor (2.12), mientras que el algoritmo «Mejora de Política» determina la mejor acción que se puede tomar para cada posible estado haciendo uso de una función acción-valor (2.13), lo que permite mejora en la política.

Si se combinan iterativamente ambos algoritmos, (*evaluar* → *mejorar* → *evaluar* → *mejorar* → ...), veremos que gradualmente mejoramos la política hasta una óptima.

A continuación, se detalla en pseudocódigo el algoritmo «Iteración de Política»:

#### 1. Iniciar

Establecer arreglo  $V^{n+1}(s) = 0$  y  $d_0(s)$ , para cada  $s \in S$

Establecer  $n = 0$  y un límite  $e$ .

#### 2. Evaluar política

##### 2.1 Calcular

For  $\forall s \in S$ :

$V^n(s) \leftarrow V^{n+1}(s)$

$V^{n+1}(s) \leftarrow r(s, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|s, a) * V^n(j)$

## 2.2 Evaluar

**If**  $\|V^{n+1}(S) - V^n(S)\| \leq e$ :

Ir al paso 3.

**Else:**

$n = n + 1$

Ir al paso 2.1.

## 3. Mejorar política

Política  $\leftarrow$  True

**For**  $s \in S$ :

$d_n \leftarrow d_{n+1}$

$d_{n+1} \leftarrow \arg \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|S, a) * V^n(j)\}$

**If**  $d_n \neq d_{n+1}$ :

Política  $\leftarrow$  False

• **If** Política:

**Break and return**  $V^{n+1}(S)$  y  $d_{n+1}$

**Else:**

Ir al paso 2.

### 1.4.1.12.2 Iteración de Valor

El algoritmo «Iteración de Valor», a diferencia de los algoritmos anteriores, calcula en una misma iteración la evaluación y la mejora, obteniendo así una forma diferente de generar políticas óptimas.

El algoritmo recibe como entrada:

- Un arreglo de valores arbitrarios para cada  $s \in S$
- Matriz de probabilidad de transición (2.3)
- Factor de descuento ( $\lambda$ )
- Parámetro  $\epsilon$  para controlar la convergencia y el criterio de parada

Se establece un método de iteración indefinido y en cada iteración se calcula el valor usando la «Ecuación de Bellman» (2.12). Las iteraciones se detienen cuando se presenta convergencia entre los valores obtenidos. La política es retornada haciendo uso de la función estado-valor (2.12).

A continuación, se detalla en pseudocódigo el algoritmo «Iteración de Valor»:

#### 1. Iniciar

Seleccionar  $V_{n+1}(S)$ .

Seleccionar un límite  $\epsilon'$ .

Establecer  $n = 0$ .

#### 2. Calcular

**For**  $\forall s \in S$ :

$$V^n(S) \leftarrow V^{n+1}(S)$$

$$V^{n+1}(S) \leftarrow \max_{a \in A_s} \{r_t(S_t, a_t) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|S, a) * V^n(j)\}$$

### 3. Evaluar

**If**  $\|V^{n+1}(S) - V^n(S)\| \leq e'$ :

Ir al paso 4.

**Else:**

$n = n + 1$

Ir al paso 2.

### 4. Obtención de política

**Return**  $d_e(S) = \arg \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} \lambda * p(j|S, a) * V^{n+1}(S)\}$

#### 1.4.2 Estado del arte

El desarrollo de este proyecto toma como referencia y se relaciona con los siguientes trabajos previos:

- **La Administración de los inventarios en el marco de la administración financiera a corto plazo.**

Autores: Nancy Céspedes Trujillo, Jorge Paz Rodríguez, Félix Esteban Jimenez Figueredo, Leonardo Pérez Molina y Yaité Pérez Mayedo.

Origen: Madrid, España

Año: 2017

- **Política de inventarios máximos y mínimos en cadenas de suministro multinivel. caso de estudio: una empresa de distribución farmacéutica.**

Autores: J. L. Chamorro Corea, J. E. Díaz Camejo, O. D. Fuentes Espinoza, H. Y. Lovo Gutiérrez

Origen: Managua, Nicaragua

Año: 2018

- **Control eficiente de inventarios.**

Autores: María Auxiliadora Guzmán Segovia, Shirley Betty Reyes Salvatierra y Roxana Yimabel Chan Yu Acebo.

Origen: Guayaquil, Ecuador

Año: 2021

- **Diseño de una política de inventario multinivel para un Centro de Distribución de Productos Congelados.**

Autores: Hamilton Mendoza Muñoz y Omar Rincón Pin.

Origen: Guayaquil, Ecuador

Año: 2012

- **EOQ model for deteriorating items having constant and time-dependent demand rate.**

Autores: Srivastava, M., Gupta, R.

Origen: Agra, India

Año: 2017

#### **1.4.2.1 Análisis de la bibliografía**

La política de inventarios es la manera correcta de administrar los productos, para la empresa ser productiva debe cumplir con indicadores establecidos en operaciones de almacenamiento, distribución de mercadería y servicio que ofrece al cliente. El inventario tiene un valor importante en el factor económico de las empresas, tomando en cuenta que son indispensables para optimización de utilidades e importantes para el aumento en nivel de ventas (Guzmán Segovia, Reyes Salvatierra, & Chan Yu Acebo, 2021)

El control adecuado de un inventario existe para prevenir una escasez de un ítem o sobre amontonamiento de producto en la bodega. El ingreso de una política a nivel empresarial es importante en la toma de decisiones porque incluye un cambio generacional en todos los ámbitos que rodean al departamento que se enfocará el análisis. El manejo de inventarios existe desde muchos años atrás, los pueblos en la antigüedad almacenan grandes cantidades de alimentos que eran utilizado en la sequía o tiempos de

calamidades, la implementación de políticas de inventario dará soluciones apropiadas para el balance de una falta o exceso de mercadería. Los puntos importantes son satisfacer la demanda futura sin obstaculizar las actividades normales realizando una planificación adecuada (Céspedes Trujillo, et al., 2017). “Una política de inventario comprende la planificación, ejecución, evaluación y control, por lo que se hace necesario implantar sistemas eficientes de control” (Guzmán Segovia, et al., 2021).

El almacenamiento de mercancías que cuyo tiempo de vida es corto o se deterioran muy rápido, ha sido tema de interés y de investigación por su importancia práctica. (Srivastava & Gupta, 2007)mencionan que el análisis para determinar los correctos niveles para el inventario no sólo se debería basar en su demanda, sino también por su grado de deterioros. Así mismo, las políticas de inventario para productos cuya demanda tiene patrones o varía en el tiempo han recibido considerable atención por investigadores de este campo de la logística. (Srivastava & Gupta, 2007)analizan previamente un modelo de inventario que fue desarrollado para productos cuya demanda crece linealmente y su tasa de deterioro es constante. Luego ofrecen un modelo mejorado y que adapta a un producto cuya demanda suele ser constante al principio, pero empieza a tener variaciones después de un tiempo determinado manteniendo su grado constante de deterioro. Luego de establecer el ciclo de reposición y la cantidad a ordenar, analizan el impacto en los costos del modelo que proponen.

Mendoza y Rincón, proponen el diseño de una política de inventario multinivel para un centro de distribución de productos congelados que permite determinar el nivel óptimo del punto de reorden, iniciando con una categorización a través del método ABC para identificar los artículos más representativos económicamente para la empresa (Mendoza Muñoz & Rincón Pin, 2017), posterior a ello, realizan un análisis de la demanda y mediante el uso de series de tiempo exponen un modelo ajustado para obtener el pronóstico de demanda para los próximos meses, finalmente plantean un modelo matemático cuyo objetivo es minimizar el costo total logístico y mejorar la eficiencia en la administración del inventario.

Por otra parte, Chamorro y Diaz, desarrollan una política de inventarios basada en máximos y mínimos para una empresa de distribución farmacéutica, donde se

determinan los niveles de inventario de los productos en base a la clasificación ABC-XYZ (Chamorro Corea, Diaz Camejo, Fuentes Espinoza, & Lovo Gutiérrez, Nexa Revista Científica ), luego, para obtener los pronósticos se utilizan técnicas de suavización y de regresión; más adelante, se realiza una simulación de pedidos empleando los parámetros estándar máximos y mínimos usando el software Arena, y por último, se optimiza los niveles de inventario, empleando búsqueda tabú y búsqueda dispersa, lo que es evaluando a través de los indicadores de nivel de servicio y rotación de inventarios.

La información obtenida en la bibliografía y su posterior comparación con la situación actual de la empresa da una guía para establecer la metodología que se utilizará para resolver el problema. Debido a que las investigaciones previas basan sus modelos en productos con grados constantes de deterioro y tasas variables en la demanda, podemos tomar esos modelos como ejemplos y aplicarlos de manera que se adapten a nuestro problema y cumplan los objetivos propuestos.

Finalmente, la política de inventario da una solución óptima a los problemas que constituyen mayor ganancia para la empresa, teniendo en cuenta el personal encargado de manejo de una bodega, poder realizar una adecuada planificación para evitar escasez y exceso de producto respetando los tiempos de duración de mercadería. Satisfacer la demanda se escucha sencillo, pero es un proceso de pasos para poder responder ante las necesidades del cliente respetando la planificación y optimizando tiempo de los operarios y espacio en el lugar de almacenamiento. Los artículos citados dan varias alternativas para regímenes y dar una política de inventarios en la empresa procesadora de mariscos tomando en cuenta sus procesos establecidos, dando un soporte con el transporte, tienen flota propia, para una mejor distribución del producto terminado a los clientes cumpliendo con los niveles de servicio.

# Capítulo 2

## 2. METODOLOGÍA

En el apartado a continuación se detalla los pasos a seguir para obtener los objetivos detallados en el proyecto integrador. Para comenzar se analiza la información recabada mediante reuniones con la persona asignado de la empresa, lo que permite conocer el estado actual de la empresa, conocer el resultado que quiere por parte de nosotros con la implementación de las nuevas políticas de inventario. Con la información recabada de la empresa diseñamos una alternativa que engloba la información de la empresa para una ejecución posterior.

### 2.1 Técnicas de investigación

En el presente trabajo aplicamos varias técnicas de investigación, tanto cualitativa como cuantitativa. La aplicación de estas ayudó a organizar las ideas. Por ejemplo, la lluvia de ideas ayudó a plasmar la funcionalidad de la empresa tanto puntos positivos como negativos; el diagrama de Ishikawa, a controlar la cantidad y calidad de información. Además, se mantuvo reuniones con el gerente de la empresa, que dio conocer la situación actual de la empresa, sus requerimientos del proyecto integrador para buscar una nueva solución al tema planteado. También se conoció la opinión de la persona encargada de la bodega de producto terminado para tener en cuenta la capacidad, los movimientos que realizan con los productos y operaciones. De manera cuantitativa, se facilitó la información de la demanda de los productos ofertados en la ciudad de Guayaquil.

#### 2.1.1 Levantamiento de información

- Operan en el mercado ecuatoriano desde el año 2005.
- Tienen 8 sucursales en todo el país, su mayor centro de distribución y producción es en la ciudad de Manta.
- El mayor almacenaje en la ciudad de Guayaquil es del producto de camarón.
- Actualmente tiene una clasificación ABC por el margen de rentabilidad.
- Tienen flota propia para el transporte de mercancías.

- Tienen distribución B2B y B2C. Un 7% se enfoca al B2C.
- Tienen entregas directas con el servicio de transporte directo “Gacela”.
- El producto en la bodega se encuentra apilado en el piso. Los nuevos pedidos se acumulan y dañan la presentación del producto que estaba almacenado.
- No tienen un pronóstico de se demanda.
- El nivel de servicio a los clientes es un problema para solucionar, no cuentan con ese indicador.
- Requieren una nueva política de inventario.
- Los productos tienen un promedio de 2 años de vida.
- En la bodega no tienen criterios de FIFO, ni LIFO, ni FEFO.

### **2.1.2 Análisis de la información levantada: Situación actual**

En la primera reunión se tuvo un acercamiento con la Gerencia de Logística para conocer la información de la empresa, de qué se trata y conocer los requerimientos.

Se detalló:

- Cómo es el proceso de pesca y producción del producto terminado que sirve de exportación y consumo interno.
- La necesidad de la empresa por mejorar el nivel de servicio de sus productos.
- Sus indicadores actuales y la intención de definir nuevos para conocer la situación en tiempo real de la bodega de producto terminado.

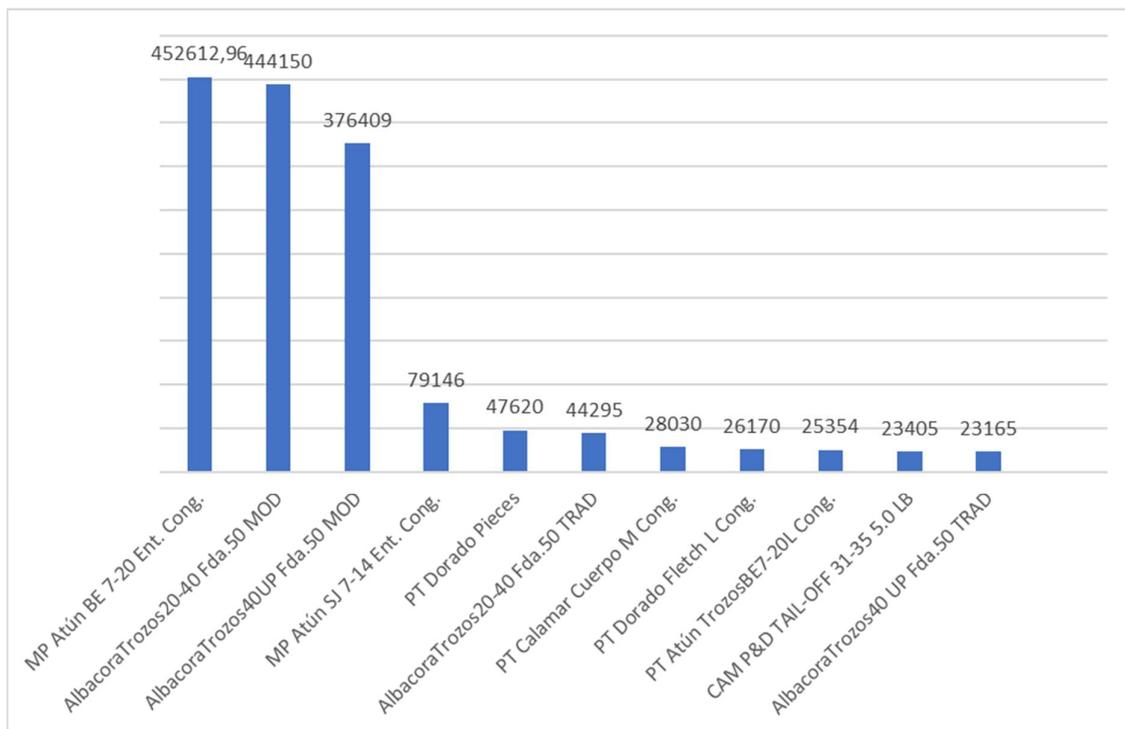
Durante la reunión se explicó la estructura que tiene el centro de distribución para la producción y el posterior transporte del producto terminado. Para un mejor análisis de la situación actual de la empresa en el control del inventario en la bodega, se facilitaron datos de la demanda de los productos que se ofertaron durante los años 2021 y 2022. La información consiste en la demanda de producto durante un año en la ciudad de Guayaquil, teniendo un catálogo de productos que consiste en 148 ítems, a la cual ofrecieron la información por volumen de ventas en libras. Del total de ítems, se realizó el análisis para determinar qué productos aportan el 80% de las ventas durante el año, que fueron un total de 11 ítems.

## 2.2 Recopilación de datos

Para la información cuantitativa facilitada por el personal encargado de esta área, se solicitó la demanda del producto en la ciudad donde se enfocará el estudio. Realizando una clasificación ABC a los productos por el número de ventas, obteniendo en el 80% de sus ventas, 11 diferentes productos que se detallan a continuación:

La clasificación da como resultado, la figura 2.1 representa los ítems que tienen mayor relevancia en la demanda de producto, en total fueron 11 productos que representan el 80%.

**Figura 2.1 Productos con mayor demanda**  
Autoridad propia



Se realizó un análisis estadístico para conocer la demanda por día de los productos antes mencionados, de la misma manera un desglose por semana de la demanda del producto.

- **MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.**

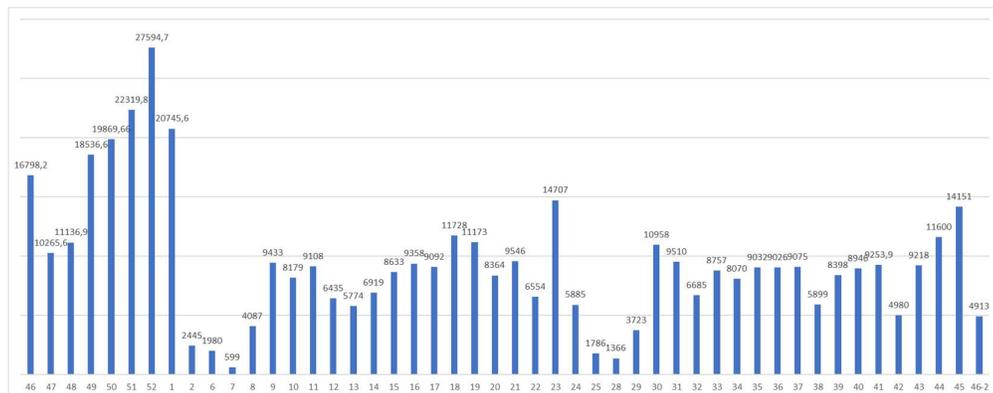
Durante análisis descriptivo, el producto «MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.», presentó una demanda estacional (Figura 2.2). Esta estacionalidad se enfatiza los fines de semana, los viernes y sábados.

Debido a que la costa de nuestro país es altamente concurrida los fines de semana y que gran parte de la economía depende del turismo y su gastronomía, es de esperarse que este tipo de productos presente ventas más altas estos días de la semana (Tabla 2.1).

**Tabla 2.1 Demanda diaria del producto «MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	398
Martes	354
Miércoles	363
Jueves	371
Viernes	474
Sábado	470
Domingo	451

**Figura 2.2 Análisis durante el año del producto «MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.»**  
Autoridad propia



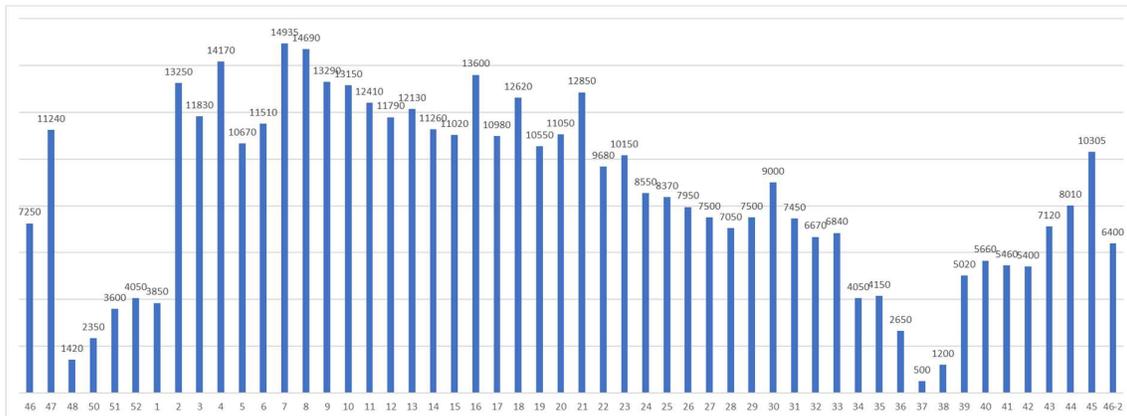
- **AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD**

A diferencia del producto estrella de la empresa, el producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD» no presentó algún tipo de estacionalidad (Figura 2.3), solo un ligero incremento los viernes. Se puede deducir, que, al ser un producto altamente consumido durante cualquier día de la semana, su demanda tiende a ser constante a lo largo del año (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	232
Martes	147
Miércoles	197
Jueves	214
Viernes	266
Sábado	227
Domingo	273

**Figura 2.3 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD»**  
Autoridad propia



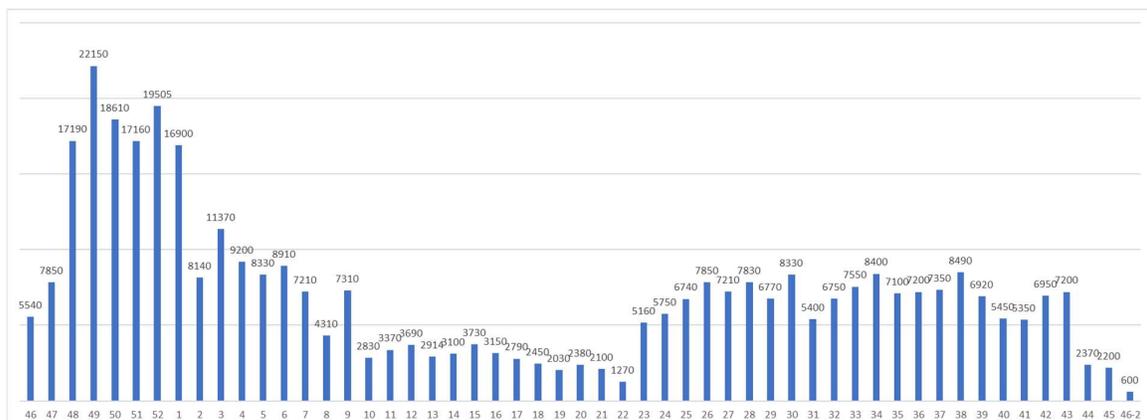
- **AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD**

El producto «AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD» no presentó algún tipo de estacionalidad (Figura 2.4), solo un ligero incremento los viernes. Este producto presenta el mismo comportamiento que el producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD», (Tabla 2.3). Se puede esperar el mismo comportamiento en la demanda para ambos productos.

**Tabla 2.3 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	199
Martes	133
Miércoles	215
Jueves	166
Viernes	229
Sábado	316
Domingo	150

**Figura 2.4 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD»**  
Autoridad propia



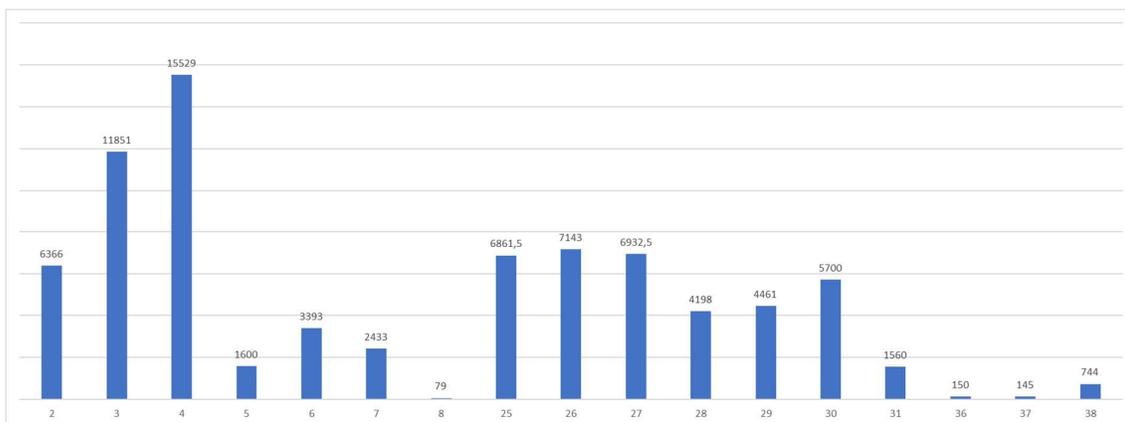
- **MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong.**

El producto «MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong» presenta una demanda un poco más estable a lo largo del tiempo, a excepción de los viernes, que al igual que los otros productos, se suele elevar un poco más la demanda (Tabla 2.4). El porcentaje de ventas de este producto a lo largo del año fue de poco más del 4% del total de las ventas.

**Tabla 2.4 Demanda diaria del producto «MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	388
Martes	256
Miércoles	376
Jueves	377
Viernes	446
Sábado	279
Domingo	368

**Figura 2.5 Análisis durante el año del producto «MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong»**  
Autoridad propia



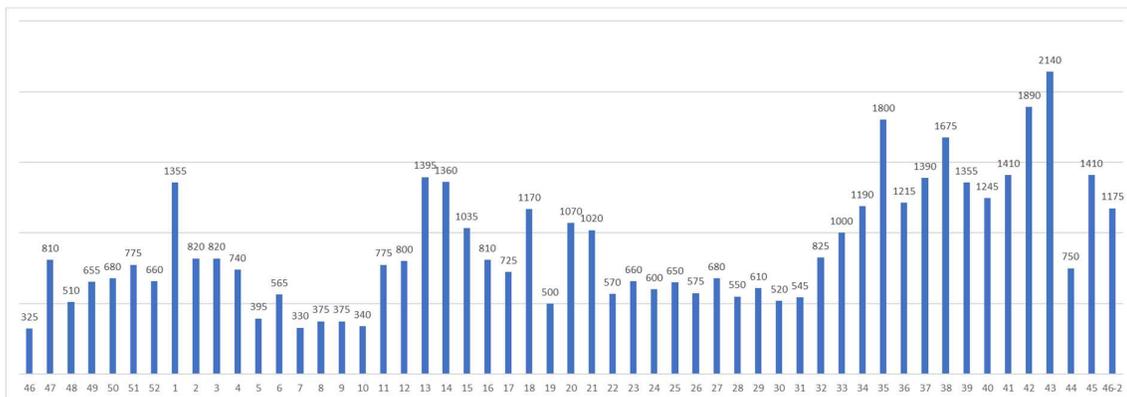
- **PT Dorado Pieces**

El producto «PT Dorado Pieces», genera apenas un 2% de las ventas totales en el periodo analizado. El martes es el día que más ventas presentó durante el análisis. En comparación con los productos del top 3 en la categoría A, este producto no presentó ventas los días domingo.

**Tabla 2.5 Demanda diaria del producto «PT Dorado Pieces» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	104
Martes	66
Miércoles	0
Jueves	112
Viernes	42
Sábado	54
Domingo	85

**Figura 2.6 Análisis durante el año del producto «PT Dorado Pieces»**  
Autoridad propia



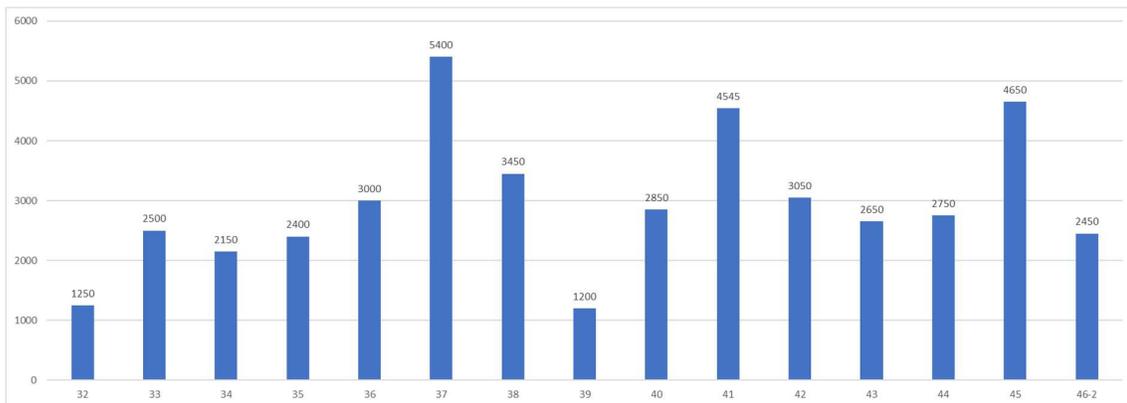
- **AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD**

De entre todos los productos que ofrece la empresa, la albacora, sin importar su presentación, sería el producto mejor vendido. También es el producto que suele venderse más los fines de semana, ahí es donde se aprecia su estacionalidad.

**Tabla 2.6 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	131
Martes	106
Miércoles	107
Jueves	163
Viernes	155
Sábado	131
Domingo	0

**Figura 2.7 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD»**  
Autoridad propia



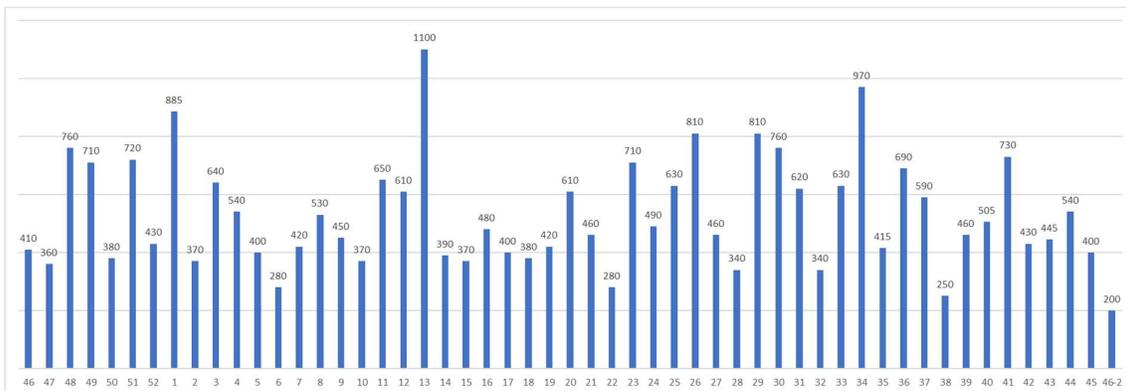
- **PT Calamar Cuerpo M Cong.**

El producto «PT Calamar Cuerpo M Cong» presenta una demanda mucho más estable en el análisis de la demanda por día. Se presentaron valores atípicos los domingos, puesto que durante todo el análisis solo se registraron dos ventas ese día durante todo el año.

**Tabla 2.7 Demanda diaria del producto «PT Calamar Cuerpo M Cong» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	43
Martes	40
Miércoles	40
Jueves	37
Viernes	33
Sábado	36
Domingo	35

**Figura 2.8 Análisis durante el año del producto «PT Calamar Cuerpo M Cong»**  
Autoridad propia



- **PT Dorado Fletch L Cong.**

El producto «PT Dorado Fletch L Cong», representa no más del 1% de las ventas. Pese a eso, se encuentra entre los productos de la categoría A, porque aporta al 80% de las ventas totales de la empresa. Su demanda fue considerablemente alta las primeras semanas del periodo de análisis, presentando mayor índice los jueves y menor los sábados. Tampoco registra venta alguna el día domingo.

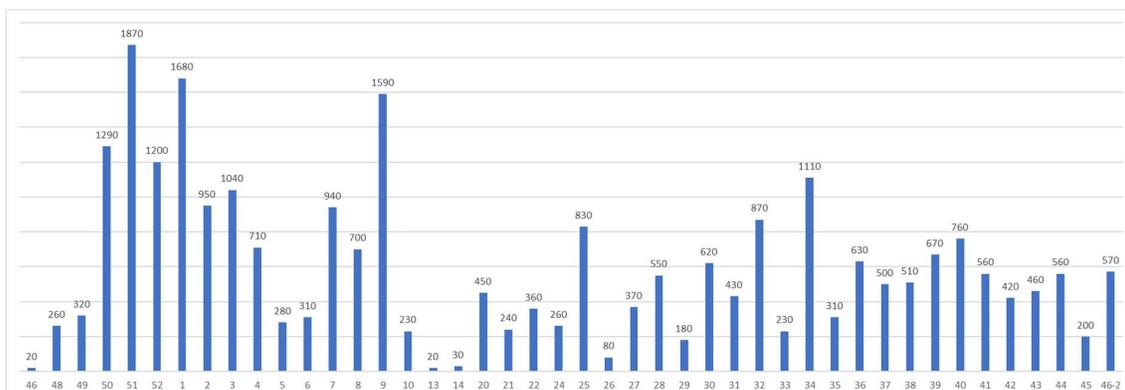
**Tabla 2.8 Demanda diaria del producto «PT Dorado Fletch L Cong» en libras**

Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	99
Martes	70
Miércoles	69
Jueves	81
Viernes	51
Sábado	41
Domingo	0

**Tabla 2.9 Análisis durante el año del producto «PT Dorado Fletch L Cong»**

Autoridad propia



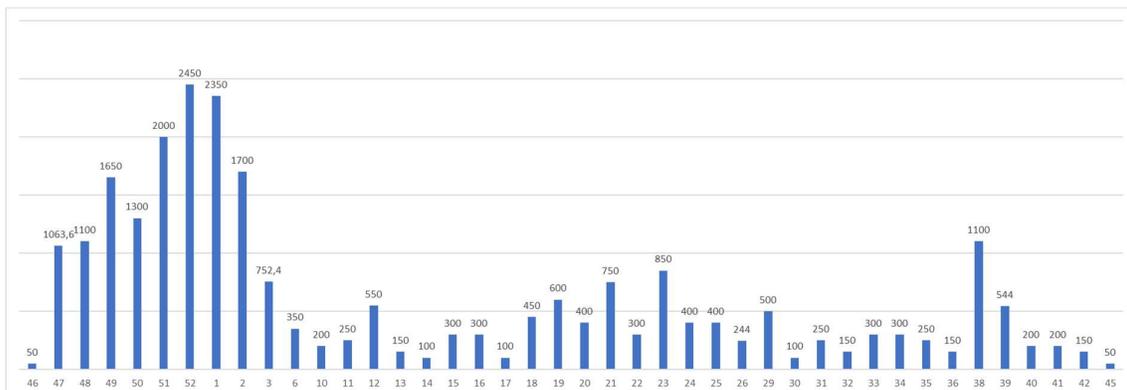
- **PT Atún TrozosBE7-20L Cong.**

Este producto, «PT Atún TrozosBE7-20L Cong.», al igual que el anterior, presentó una alta demanda las primeras semanas del 2021, año donde empieza nuestro análisis, pero decayó desde la semana 10 en adelante. Los jueves suelen ser los días donde se presenta más demanda de este producto. Tampoco se registraron ventas los domingos.

**Tabla 2.9 Demanda diaria del producto «PT Atún TrozosBE7-20L Cong.» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	120
Martes	154
Miércoles	298
Jueves	223
Viernes	174
Sábado	127
Domingo	0

**Figura 2.10 Análisis durante el año del producto «PT Atún TrozosBE7-20L Cong.»**  
Autoridad propia



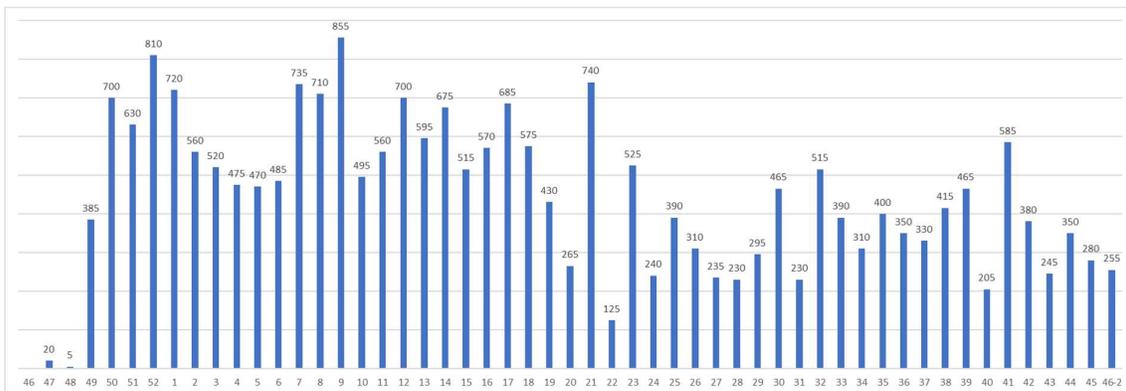
- **CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB**

El producto «CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB», es el penúltimo producto de la categoría A. Su aporte a las ventas anuales de la empresa es de poco más del 1%. Se podría decir que su demanda a lo largo del año registró valores altos durante la primera mitad y se redujo para la segunda mitad. Registra más ventas los viernes y con valores atípicos los domingos.

**Figura 2.10 Demanda diaria del producto «CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	23
Martes	19
Miércoles	29
Jueves	21
Viernes	19
Sábado	26
Domingo	11

**Figura 2.11 Análisis durante el año del producto «CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB»**  
Autoridad propia



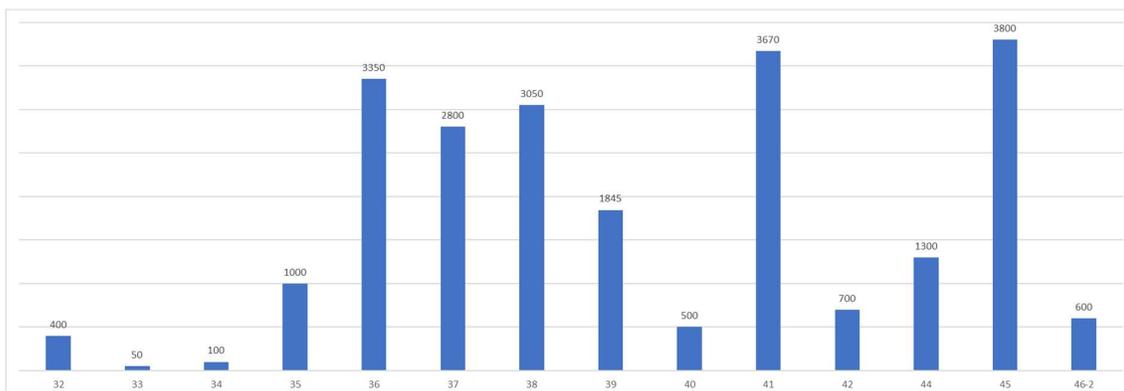
- **AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD**

Una vez más, dentro de la categoría A, tenemos otro producto de albacora. La albacora es un producto esencial para la gastronomía de nuestro país, sirve para la preparación de un sin número de platos que caracterizan nuestra gastronomía. El producto «AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD» aporta cerca del 1% de las ventas totales de la empresa durante el periodo analizado. Presentó un incremento considerable los lunes, jueves y viernes. A diferencia de otros productos, éste no registró ventas los domingos.

**Tabla 2.11 Demanda diaria del producto «AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD» en libras**  
Autoridad propia

Día	Promedio Diario
Lunes	517
Martes	155
Miércoles	221
Jueves	237
Viernes	320
Sábado	285
Domingo	0

**Figura 2.12 Análisis durante el año del producto «AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD»**  
Autoridad propia



Con la información obtenida de la demanda en la ciudad de Guayaquil recabamos que algunos productos que tienen la mayor demanda no tienen pedidos los domingos (5 de los 11 ítems), el resto de los productos la demanda los días domingo es muy baja. Con el análisis de los productos durante el año de información entregada de datos encontramos productos que no cumple el 30% de las semanas, pero tienen el valor de la demanda alta por el consumo de las semanas requeridas.

### 2.3 Descripción de modelos con datos obtenidos

- **Consideraciones del modelo**

- La demanda de los productos no se conoce con certeza, sólo su probabilidad.
- Cada vez que una orden es generada, se incurre en un costo de ordenar.
- Cada libra de producto en el inventario incurre en costos de mantener.

- **Supuestos del modelo**

- Se asume que la demanda es discreta ( $D = 1, 2, 3, \dots$ )[libras]
- No «lead time». Se considera el reabastecimiento es instantáneo. Esto se debe a que la empresa recibe el producto el siguiente día.
- El inventario es no perecible. Los productos que oferta la empresa tienen un tiempo de vida de dos años.
- La demanda que no se logra satisfacer, se pierde.

- **Información necesaria y parámetros:**

$C_0$ : \$4

$C_c$ : \$2

$D$ : Demanda en libras (tabla..)

$p_j$ : Probabilidad de que se vendan  $j$  libras de producto ( $P(D = j) = p_j$ )(Tabla ...)

$M$ : Nivel máximo de producto en el almacén en libras (Tabla ...)

$\lambda$ : Factor de descuento = 0.95

$e = 0.01$

- **Variable de estado y acción**

$$S' = S + a - D \quad (2.1)$$

Donde  $S'$  sería la cantidad de libras que se espera tener para el siguiente periodo,  $a$  la cantidad de libras que debo pedir y  $S$  la cantidad de libras con las que empiezo el periodo.

Si  $D > S + a$ , entonces  $S' = 0$ .

- **Función de beneficio**

El beneficio depende de la cantidad de libras con las que inicio el día  $t$  y la cantidad de libras que pido el día  $t$ .

La función de beneficio viene dada por la cantidad de libras que se vendió el día  $t$  menos los costos asociados a las acciones de ordenar y de mantener en bodega.

$$r(S, a) = E[\text{Min}(D, S + a) * (\$8)] - (\$4) + (\$2)(a) - (\$1)(S + a - D) \quad (2.2)$$

- **Matriz de probabilidad de transición**

La probabilidad de tener cierta cantidad de libras de producto en el almacén en el siguiente periodo (estado  $S'$ ), dado que tenemos cierta cantidad de libras de producto hoy (estado  $S$ ) y ordenamos cierta cantidad de libras de producto (acción  $a$ ).

$$P(S'|S, a) = \begin{cases} 0, & \text{if } S' \in (S + a, M) \\ P_{S+a-S'}, & \text{if } S' \in (0, S + a) \wedge S + a \leq M \\ \sum_{j>S+a} P_j, & \text{if } S' = 0 \wedge S + a \leq M \end{cases} \quad (2.3)$$

- **Componentes de la función objetivo**

- **Costo de ordenar**

$$C_o(a_t) = \begin{cases} (\$4) + (\$2)(a), & \text{if } a_t > 0 \\ 0, & \text{if } a_t = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

- **Costo de mantener producto en bodega**

$$(\$1)(S + a - D) \quad (2.5)$$

Donde  $S + a - D$  son las libras de producto al final del día  $t$ .

- **Ingresos**

La función de ingresos viene dada por:

$$F(S + a) = E[\text{Min}(D_t, S_t + a_t) * (\$8)] \quad (2.6)$$

Sea  $u = S + a$  y  $D = j$ .

Si  $u = S + a > D = j$ , entonces la función de ingresos viene dada por:

$$f(j) \equiv (\$8) * j \quad (2.7)$$

Esto sucede con una probabilidad de  $p_j$ .

Sin embargo, si la demanda excede el inventario, entonces la función de ingresos viene dada por:

$$f(u): (\$8) * u \quad (2.8)$$

Donde:

$$u = S + a \quad (2.9)$$

Y esto sucede con una probabilidad de:

$$q_u = \sum_{j=u}^{\infty} p_j \quad (2.10)$$

Entonces, la función de ingresos queda expresada de la siguiente manera:

$$F(u) = F(S + a) = \sum_{j=0}^{u-1} f(j) * p_j + f(u) * q_u \quad (2.11)$$

- **Algoritmo Iteración de valor**

- 1. Iniciar**

Seleccionar un vector aleatorio,  $V_{n+1}(S)$ , de tamaño 20.

Seleccionar un límite  $e = 0.01$ .

Establecer  $n = 0$ .

- 2. Calcular**

**For**  $s = 1$  hasta  $S = 20$ :

$V^n(S) \leftarrow V^{n+1}(S)$

$V^{n+1}(S) \leftarrow \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} (0.95) * p(j|S, a) * V^n(S)\}$

- 3. Evaluar**

**If**  $\|V^{n+1}(S) - V^n(S)\| \leq 0.01$ :

Ir al paso 4.

**Else:**

$n = n + 1$

Ir al paso 2.

- 4. Obtención de política**

**Return**  $d(S) = \arg \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} (0.95) * p(j|S, a) * V^{n+1}(S)\}$

- **Algoritmo Iteración de política**

### 1. Iniciar

Establecer arreglo  $V^{n+1}(s) = 0$  y una política aleatoria,  $d(s)$ , para cada  $s \in S$

Establecer  $n = 0$  y un límite  $e = 0.01$ .

### 2. Evaluar política

#### 2.1 Calcular

**For**  $s = 1$  hasta  $S = 20$ :

$$V^n(S) \leftarrow V^{n+1}(S)$$

$$V^{n+1}(S) \leftarrow r(S, a) + \sum_{j \in S} (0.95) * p(j|S, a) * V^n(S)$$

#### 2.2 Evaluar

**If**  $\|V^{n+1}(S) - V^n(S)\| \leq 0.01$ :

Ir al paso 3.

**Else:**

$$n = n + 1$$

Ir al paso 2.1.

### 3. Mejorar política

Política  $\leftarrow$  True

**For**  $s = 1$  hasta  $S = 20$ :

$$d_n \leftarrow d_{n+1}$$

$$d_{n+1} \leftarrow \arg \max_{a \in A_s} \{r(S, a) + \sum_{j \in S} (0.95) * p(j|S, a) * V^n(S)\}$$

**If**  $d_n \neq d_{n+1}$ :

Política  $\leftarrow$  False

- **If** Política:

**Break and return**  $V^{n+1}(S)$  y  $d_{n+1}$

**Else:**

Ir al paso 2.

## **2.4 Uso de software**

### **2.4.1 Microsoft Excel**

Es un software que muestra una hoja de cálculo que permite la visualización, edición y manejo de datos. En ella se pueden realizar cálculos simples o complejos usando funciones avanzadas, gráficas, tablas dinámicas y, además, nos ofrece la creación de macros por medio de un lenguaje de programación.

Este software se usó para la visualización y preparación de los datos históricos de ventas otorgados por la empresa durante un lapso de un año. Luego, por medio del uso de tablas dinámicas, los datos fueron filtrados y ordenados para obtener la clasificación ABC en base a las ventas durante el periodo de análisis.

### **2.4.2 Python**

Python es un lenguaje de programación categorizado como interprete y que, gracias a su gran expansión y mejora continua, ha sido usado ampliamente para la implementación de algoritmos y métodos matemáticos. Este lenguaje de programación es muy versátil y su sintaxis fue pensada para que sea de fácil entendimiento. Esto hace a Python muy usado en aplicaciones como la Investigación de operaciones, ciencias de datos y aprendizaje autónomo computarizado.

Para la implementación del modelo que buscará la política óptima de inventario, se decidió usar esta herramienta informática porque posee librerías que ayudan al desarrollo de algoritmos con bases matemáticas. Además, como su sintaxis es fácil de interpretar, la empresa podrá analizarlo sin problemas y aplicarlo a los demás productos de su catálogo.

## **2.5 Consideraciones legales y éticas**

Este proyecto consideró aspectos legales para el almacenaje, el aprovisionamiento y la recepción de mercancías, tal cual y cómo se detallan en la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2910**. Se enfatizó la lectura de las normas para el despacho y la recepción de mercancías de consumo humano que necesitan estar congeladas, así como su correcto almacenaje y documentación.

El levantamiento de información, los datos históricos otorgados por la empresa para el desarrollo del proyecto y su posterior análisis se realizaron bajo la firma, de ambas partes involucradas, de un contrato de confidencialidad, para asegurar la no divulgación de la información de la empresa.

## **2.6 Plan de trabajo.**

- Reunión con el personal encargado de la empresa para la socialización del proyecto.
- Reconocimiento de la empresa, mediante una reunión en el centro de distribución en la ciudad de Guayaquil.
- Conocer los requerimientos de la empresa, y la finalidad con el proyecto integrador.
- Buscar la alternativa que se adapte a la situación actual de la empresa.
- Análisis de la información ofrecida por el personal encargado.
- Implementación del modelo elegido
- Aplicación de Programación Dinámica en base a Cadenas de Markov y Ecuación de Bellman.

# Capítulo 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La implementación de correctas políticas de inventario permite a la empresa mantener niveles correctos de producto dentro del almacén, reduciendo costos y mejorando el nivel de servicio de los productos o servicios ofrecidos al mercado. En esta sección se analizaron los resultados obtenidos por medio de la ejecución de un algoritmo basado en Programación Dinámica en base a la demanda histórica diaria de los productos de la categoría A ofertados por la empresa.

### 3.1 Análisis de la demanda

El análisis de la demanda se realizó con la finalidad conocer qué productos proporcionan el 80% de las ventas en la empresa, el comportamiento de sus datos y de saber cómo los manejaríamos para incorporarlos de manera conveniente al algoritmo.

Para este análisis, se usaron los datos de ventas de los productos ofertados por la empresa durante los meses de noviembre de 2021 hasta noviembre de 2022.

Con el fin de saber con qué frecuencia se vendían cierta cantidad de libras, se usaron tablas de frecuencia, tomando en consideración especial la frecuencia absoluta y relativa de las ventas de cada producto. De esta manera, se construyeron intervalos que, por un lado, capturen el comportamiento de la demanda y, por otro, permitan reducir el número de combinaciones de escenarios (véase Tabla 2.1).

La frecuencia fue usada para saber cuál fue el porcentaje de veces que se vendió cierta cantidad de libras de ese producto. De esta manera, evaluando la frecuencia en la matriz de probabilidad, se obtiene la cantidad de libras de producto que habrá en el almacén en el siguiente periodo (estado  $S'$ ), dado que tenemos cierta cantidad de libras de producto hoy (estado  $S$ ) y ordenamos cierta cantidad de libras de producto (acción  $a$ ).

**Tabla 3.1** Tabla de intervalos y frecuencias de ventas para el producto PT-ATN-027

<b>Demanda en libras</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>
(0, 75]	21.43%
(75, 150]	41.91%
(150, 225]	13.34%
(225, 300]	6.99%
(300, 375]	2.80%
(375, 450]	3.05%
(450, 525]	2.30%
(525, 600]	1.10%
(600, 675]	0.15%
(675, 750]	0.20%
(750, 825]	0.50%
(825, 900]	1.40%
(900, 975]	0.05%
(975, 1050]	2.80%
(1050, 1125]	0.00%
(1125, 1200]	0.10%
(1200, 1275]	0.05%
(1275, 1350]	0.05%
(1350, 1425]	0.20%
(1425, 1500]	1.60%
(1500, 1575]	0.00%

### **3.2 Análisis de las instancias**

Para la obtención de las políticas de inventarios de los productos de la categoría A, se analizó el uso de dos diferentes algoritmos, ambos basados en Programación Dinámica. El primer algoritmo, Iteración de Valor, que busca mejor en cada iteración los valores obtenidos en la ecuación de Bellman, y el segundo, Iteración de Política, que busca mejorar en cada iteración una política aleatoria inicial.

### 3.2.1 Obtención de Política usando el algoritmo de Iteración de Valor

El algoritmo compara cada posible combinación entre el estado actual, la acción a tomar en base a la demanda y el estado futuro del inventario.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos aplicando la Iteración de Valor para dos los once productos que representan la categoría A. Las políticas de de los productos restantes se detallan en la sección «Anexos».

**Tabla 3.2 Políticas de inventario para los productos 0068-016 y PT-ATN-030 (cantidades en libras).**

0068-016		PT-ATN-030	
Estado del Inventario (S)	Política	Estado del Inventario (S)	Política
(0, 9]	(61, 70]	(0, 50]	(650, 700]
(9, 18]	(53, 61]	(50, 100]	(600, 650]
(18, 26]	(44, 53]	(100, 150]	(550, 600]
(26, 35]	(35, 44]	(150, 200]	(500, 550]
(35, 44]	(0, 9]	(200, 250]	(450, 500]
(44, 53]	(0, 9]	(250, 300]	(400, 450]
(53, 61]	(0, 9]	(300, 350]	(0, 50]
(61, 70]	(0, 9]	(350, 400]	(300, 350]
(70, 79]	(0, 9]	(400, 450]	(0, 50]
(79, 88]	(0, 9]	(450, 500]	(0, 50]
(88, 96]	(0, 9]	(500, 550]	(0, 50]
(96, 105]	(0, 9]	(550, 600]	(100, 150]
(105, 114]	(0, 9]	(600, 650]	(0, 50]
(114, 123]	(0, 9]	(650, 700]	(0, 50]
(123, 131]	(0, 9]	(700, 750]	(0, 50]
(131, 140]	(0, 9]	(750, 800]	(0, 50]
(140, 149]	(0, 9]	(800, 850]	(0, 50]
(149, 158]	(0, 9]	(850, 900]	(50, 100]
(158, 166]	(0, 9]	(900, 950]	(0, 50]
(166, 175]	(0, 9]	(950, 1000]	(50, 100]
(175, 184]	(0, 9]	(1000, 1050]	(0, 50]

La columna «Estado del inventario (S)» representa el posible estado del inventario cuando empieza el periodo de análisis. Para cada posible estado del inventario, el

algoritmo calculó cada posible acción a tomar (columna «Política») para poder satisfacer la demanda que podría presentarse.

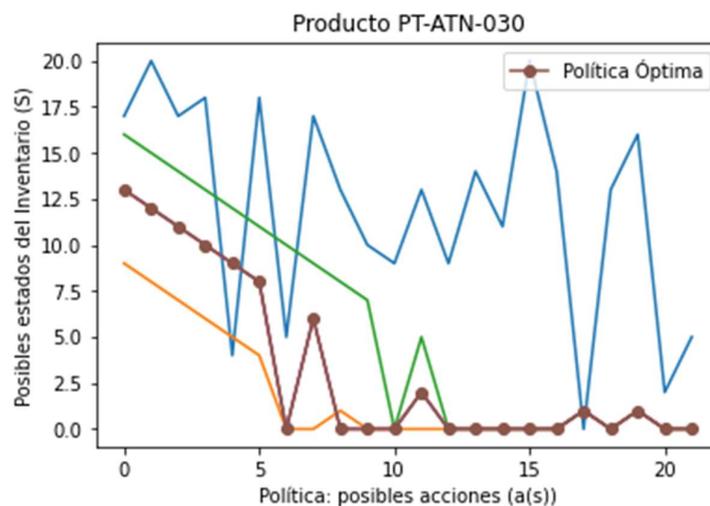
### 3.2.2 Obtención de Política usando el algoritmo de Iteración de Política

Obtener políticas usando el algoritmo de «Iteración de Política» arroja los mismos resultados (véase las tablas 3.2) en comparación con el algoritmo de «Iteración de Valor». La diferencia entre ambos algoritmos es que éste empieza con una política aleatoria y, computacionalmente hablando, ocupa más recursos y tiempo debido a que en cada una de sus iteraciones se realiza una evaluación de política.

### 3.3 Análisis Gráfico de los resultados

La figura 3.1 nos muestra las mejoras en la política durante toda la ejecución del algoritmo. La gráfica de color azul representa la política aleatoria con la que se comienza la iteración (por eso su gráfica fuera de sentido). Luego el algoritmo analiza cada posible estado con cada posible acción y va optando por la política cuyo valor converge a un óptimo y se detiene cuando ya no muestra cambio o mejora alguna.

Figura 3.1 Visualización de la mejora de la política para el producto PT-ATN-030



### 3.4 Simulación

Con el fin de validar las políticas obtenidas con la ejecución de los algoritmos, se realizó una simulación tomando aleatoriamente uno de los once productos evaluados. Durante la simulación (véase tabla 3.6) se estableció de manera aleatoria el estado actual del periodo 1 ( $S_1 = 100 \text{ lbs}$ ), se simuló una demanda ( $d_1 = 150 \text{ lbs}$ ) en base a su probabilidad y se tomó una acción ( $a_1 = 600 \text{ lbs}$ ) en base a la política establecida previamente. El estado futuro ( $S'_1 = 550 \text{ lbs}$ ) resulta de la suma del estado actual y la acción menos la demanda ( $S'_1 = S_1 + a_1 - d_1$ ). El estado futuro  $S'_1$  sería el estado actual ( $S_2$ ) del siguiente periodo.

**Tabla 3.3 Simulación para el producto PT-ATN-027 (cantidades en libras)**

Producto		PT-ATN-027		
Periodo	Estado Actual (S)	Demanda	Acción (a)	Estado Futuro (S')
1	100	150	600	550
2	550	75	75	550
3	550	150	75	475
4	475	300	75	250
5	250	225	75	100
6	100	150	600	550
7	550	600	75	25
8	25	150	675	550
9	550	525	75	100
10	100	75	600	625
11	625	150	75	550
12	550	150	75	475
13	475	150	75	400
14	400	225	75	250
15	250	150	75	175
16	175	75	525	625
17	625	150	75	550
18	550	600	75	25
19	25	375	675	325
20	325	75	75	325
21	325	150	75	250
22	250	150	75	175
23	175	225	525	475
24	475	150	75	400
25	400	75	75	400

Como se aprecia en la tabla 3.6, durante la simulación, no se presentaron quiebres de inventario y ni tampoco se tomó la acción de ordenar el máximo valor posible.

### **3.5 Análisis económico**

Con la implementación de nuevas políticas de inventario, la empresa desea reducir costos y la cantidad de libras que se dejan de vender por falta de stock.

Los valores usados son simples representaciones o estimaciones de los costos reales (tabla 3.4). La empresa se limitó a compartir esa información.

**Tabla 3.4 Tabla de costos.**

<b>Costo de Ordenar</b>	\$	4.00
<b>Costo por unidad</b>	\$	2.00
<b>Costo de Mantener</b>	\$	1.00

Se realizó un análisis económico para conocer los beneficios en los costos de mantener producto en inventario y de ordenar que pudieran obtenerse si se implementa la propuesta. Este análisis se ejecutó para los 11 productos que forman parte de la categoría A y se tomaron los valores máximos a ordenar dados por las políticas y por la situación actual de la empresa.

#### **3.5.1 Análisis para el costo de ordenar**

Con la propuesta, es posible reducir los costos de ordenar en un 36.36% (véase tabla 3.5). Esto sucede debido a que la política aconseja no ordenar el valor máximo permitido, sino un porcentaje menor de producto que puede satisfacer la demanda sin problemas.

**Tabla 3.5 Análisis de costos de ordenar para los productos de categoría A.**

Producto	Situación Actual		Propuesta	
	Cantidad Máxima a Ordenar (lb.)	Costos por Ordenar	Cantidad Máxima a Ordenar (lb.)	Costos por Ordenar
MP-ATN-001	4036	\$ 8,076.00	1412.6	\$ 2,829.20
PT-ATN-027	1500	\$ 3,004.00	675	\$ 1,354.00
PT-ATN-029	3100	\$ 6,204.00	775	\$ 1,554.00
MP-ATN-010	2700	\$ 5,404.00	945	\$ 1,894.00
PT-DRD-096	600	\$ 1,204.00	240	\$ 484.00
PT-ATN-028	1200	\$ 2,404.00	360	\$ 724.00
PT-CLM-002	440	\$ 884.00	110	\$ 224.00
PT-DRD-046	770	\$ 1,544.00	192.5	\$ 389.00
PT-ATN-003	800	\$ 1,604.00	440	\$ 884.00
0068-016	175	\$ 354.00	70	\$ 144.00
PT-ATN-030	1000	\$ 2,004.00	700	\$ 1,404.00
	Total	\$ 32,686.00	Total	\$ 11,884.20
		100%	Ahorro	36.36%

### 3.5.2 Análisis para los costos de mantener producto en inventario

Con la propuesta, es posible reducir los costos de ordenar en un 36.27% (véase tabla 3.6). Esto sucede debido a que la política aconseja no ordenar el valor máximo permitido, sólo lo suficiente para cumplir con la demanda. Por lo tanto, el producto en la bodega será sólo el necesario para mantener un índice de rotación elevado reduciendo el tiempo de permanencia de las mercancías en la bodega.

**Tabla 3.6 Análisis de los costos de mantener una unidad en inventario para los productos de categoría A.**

Producto	Situación Actual		Propuesta	
	Cantidad Máxima a Ordenar (lb.)	Costos por Mantener	Cantidad Máxima a Ordenar (lb.)	Costos por Mantener
<b>MP-ATN-001</b>	4036	\$ 4,036.00	1412.6	\$ 1,412.60
<b>PT-ATN-027</b>	1500	\$ 1,500.00	675	\$ 675.00
<b>PT-ATN-029</b>	3100	\$ 3,100.00	775	\$ 775.00
<b>MP-ATN-010</b>	2700	\$ 2,700.00	945	\$ 945.00
<b>PT-DRD-096</b>	600	\$ 600.00	240	\$ 240.00
<b>PT-ATN-028</b>	1200	\$ 1,200.00	360	\$ 360.00
<b>PT-CLM-002</b>	440	\$ 440.00	110	\$ 110.00
<b>PT-DRD-046</b>	770	\$ 770.00	192.5	\$ 192.50
<b>PT-ATN-003</b>	800	\$ 800.00	440	\$ 440.00
<b>0068-016</b>	175	\$ 175.00	70	\$ 70.00
<b>PT-ATN-030</b>	1000	\$ 1,000.00	700	\$ 700.00
	Total	\$ 16,321.00	Total	\$ 5,920.10
		100%	<b>Ahorro</b>	36.27%

# Capítulo 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se comparan los resultados con los objetivos planteados y se verifica que cumplen las expectativas del desarrollador.

### 4.1 Conclusiones

- La aplicación de las técnicas para obtener y discernir información fue de gran ayuda para una comprensión más rápida y precisa de los puntos a mejorar en la empresa. Gracias a las técnicas aplicadas, se logró establecer de mejor manera los supuestos del problema para, posteriormente, elegir con mayor precisión los algoritmos para mejorar el sistema de reabastecimiento.
- Los productos que la empresa ha venido ofertando durante los meses de noviembre de 2021 hasta noviembre de 2022 fueron categorizados usando un análisis ABC en base al volumen de ventas, como requerimiento del cliente. Esto permitió el desarrollo del proyecto con los productos de la categoría A, formada por el 7% del total de ítems ofertados durante ese periodo, y a la empresa le permitirá analizar qué productos poder retirar de su portafolio.
- Los algoritmos basados en Programación Dinámica son factibles para la generación de políticas de inventarios cuando se tienen los siguientes supuestos:
  1. Demanda estocástica
  2. Lead time despreciable o casi nulo
  3. Productos con tiempos de vida despreciable
  4. Horizonte de tiempo finito
  5. No se toman en cuenta ventas perdidas

- La simulación fue la herramienta elegida para conocer si las políticas cumplen con lo esperado. Los resultados obtenidos con la simulación permitieron conocer el comportamiento de las políticas y su influencia en los costos asociados al inventario.
- Durante la simulación, se presenció que las políticas actúan correctamente en situaciones cercanas al quiebre de stock. También se refleja una considerable reducción en los costos de mantener producto en inventario, %36.27, y en los costos de ordenar, %36.36.

## **4.2 Recomendaciones**

- Si se necesita más precisión en la obtención de las políticas, es necesario que se incrementen los intervalos la demanda. Cabe recalcar, que entre más intervalos se usen, la complejidad computacional del algoritmo aumenta y puede no llegar a terminar su ejecución.
- Los costos usados para la ejecución del algoritmo, con simples parámetros estimados o sintéticos que pueden ser modificados por los usuarios sin alterar el funcionamiento del algoritmo y su implementación.
- Debido a que es muy probable que los datos nunca sigan una distribución teórica, se recomienda que la demanda sea estimada en base a la frecuencia con la que venden cierta cantidad de libras.
- El usuario puede hacer uso de ambos algoritmos, los valores calculados convergerán en un mismo punto, pero hay que considerar que el algoritmo «Iteración de política» podría necesitar de más recursos computacionales que el otro algoritmo propuesto.

# Anexos

**Tabla 3.7 Políticas para los productos MP-ATN-001, PT-ATN-027 y PT-ATN-029  
(cantidades en libras)**

<b>MP-ATN-001</b>	<b>MP-ATN-001_Política</b>	<b>PT-ATN-027</b>	<b>PT-ATN-027_Política</b>	<b>PT-ATN-029</b>	<b>PT-ATN-029_Política</b>
(0, 202]	(1211, 1413]	(0, 75]	(600, 675]	(0, 155]	(620, 775]
(202, 404]	(1009, 1211]	(75, 150]	(525, 600]	(155, 310]	(465, 620]
(404, 605]	(807, 1009]	(150, 225]	(450, 525]	(310, 465]	(0, 155]
(605, 807]	(0, 202]	(225, 300]	(0, 75]	(465, 620]	(0, 155]
(807, 1009]	(0, 202]	(300, 375]	(0, 75]	(620, 775]	(0, 155]
(1009, 1211]	(0, 202]	(375, 450]	(0, 75]	(775, 930]	(0, 155]
(1211, 1413]	(0, 202]	(450, 525]	(0, 75]	(930, 1085]	(0, 155]
(1413, 1614]	(0, 202]	(525, 600]	(0, 75]	(1085, 1240]	(0, 155]
(1614, 1816]	(0, 202]	(600, 675]	(0, 75]	(1240, 1395]	(0, 155]
(1816, 2018]	(0, 202]	(675, 750]	(0, 75]	(1395, 1550]	(0, 155]
(2018, 2220]	(0, 202]	(750, 825]	(0, 75]	(1550, 1705]	(0, 155]
(2220, 2422]	(0, 202]	(825, 900]	(0, 75]	(1705, 1860]	(0, 155]
(2422, 2623]	(0, 202]	(900, 975]	(0, 75]	(1860, 2015]	(0, 155]
(2623, 2825]	(0, 202]	(975, 1050]	(0, 75]	(2015, 2170]	(0, 155]
(2825, 3027]	(0, 202]	(1050, 1125]	(0, 75]	(2170, 2325]	(0, 155]
(3027, 3229]	(0, 202]	(1125, 1200]	(0, 75]	(2325, 2480]	(0, 155]
(3229, 3431]	(0, 202]	(1200, 1275]	(0, 75]	(2480, 2635]	(0, 155]
(3431, 3632]	(0, 202]	(1275, 1350]	(0, 75]	(2635, 2790]	(0, 155]
(3632, 3834]	(0, 202]	(1350, 1425]	(0, 75]	(2790, 2945]	(0, 155]
(3834, 4036]	(0, 202]	(1425, 1500]	(0, 75]	(2945, 3100]	(0, 155]
(4036, 4238]	(0, 202]	(1500, 1575]	(0, 75]	(3100, 3255]	(0, 155]

**Tabla 3.8 Políticas para los productos MP-ATN-010, PT-DRD-096 y PT-ATN-028  
(cantidades en libras)**

<b>MP-ATN-010</b>	<b>MP-ATN-010_Política</b>	<b>PT-DRD-096</b>	<b>PT-DRD-096_Política</b>	<b>PT-ATN-028</b>	<b>PT-ATN-028_Política</b>
(0, 135]	(810, 945]	(0, 30]	(210, 240]	(0, 60]	(300, 360]
(135, 270]	(675, 810]	(30, 60]	(180, 210]	(60, 120]	(240, 300]
(270, 405]	(540, 675]	(60, 90]	(150, 180]	(120, 180]	(180, 240]
(405, 540]	(405, 540]	(90, 120]	(120, 150]	(180, 240]	(0, 60]
(540, 675]	(0, 135]	(120, 150]	(0, 30]	(240, 300]	(0, 60]
(675, 810]	(0, 135]	(150, 180]	(0, 30]	(300, 360]	(0, 60]
(810, 945]	(0, 135]	(180, 210]	(0, 30]	(360, 420]	(0, 60]
(945, 1080]	(0, 135]	(210, 240]	(0, 30]	(420, 480]	(0, 60]
(1080, 1215]	(0, 135]	(240, 270]	(60, 90]	(480, 540]	(0, 60]
(1215, 1350]	(0, 135]	(270, 300]	(0, 30]	(540, 600]	(0, 60]
(1350, 1485]	(0, 135]	(300, 330]	(0, 30]	(600, 660]	(0, 60]
(1485, 1620]	(0, 135]	(330, 360]	(0, 30]	(660, 720]	(0, 60]
(1620, 1755]	(0, 135]	(360, 390]	(0, 30]	(720, 780]	(0, 60]
(1755, 1890]	(0, 135]	(390, 420]	(0, 30]	(780, 840]	(0, 60]
(1890, 2025]	(0, 135]	(420, 450]	(0, 30]	(840, 900]	(0, 60]
(2025, 2160]	(0, 135]	(450, 480]	(0, 30]	(900, 960]	(0, 60]
(2160, 2295]	(0, 135]	(480, 510]	(0, 30]	(960, 1020]	(0, 60]
(2295, 2430]	(0, 135]	(510, 540]	(0, 30]	(1020, 1080]	(0, 60]
(2430, 2565]	(0, 135]	(540, 570]	(0, 30]	(1080, 1140]	(0, 60]
(2565, 2700]	(0, 135]	(570, 600]	(0, 30]	(1140, 1200]	(0, 60]
(2700, 2835]	(0, 135]	(600, 630]	(0, 30]	(1200, 1260]	(0, 60]

**Tabla 3.9 Políticas para los productos PT-CLM-002, PT-DRD-046 y PT-ATN-003  
(cantidades en libras)**

<b>PT-CLM-002</b>	<b>PT-CLM-002_Política</b>	<b>PT-DRD-046</b>	<b>PT-DRD-046_Política</b>	<b>PT-ATN-003</b>	<b>PT-ATN-003_Política</b>
(0, 22]	(88, 110]	(0, 39]	(154, 193]	(0, 40]	(400, 440]
(22, 44]	(66, 88]	(39, 77]	(116, 154]	(40, 80]	(360, 400]
(44, 66]	(0, 22]	(77, 116]	(77, 116]	(80, 120]	(320, 360]
(66, 88]	(0, 22]	(116, 154]	(0, 39]	(120, 160]	(280, 320]
(88, 110]	(0, 22]	(154., 193]	(0, 39]	(160, 200]	(240, 280]
(110, 132]	(0, 22]	(193, 231]	(0, 39]	(200, 240]	(0, 40]
(132, 154]	(0, 22]	(231, 270]	(0, 39]	(240, 280]	(160, 200]
(154, 176]	(0, 22]	(270, 308]	(0, 39]	(280, 320]	(120, 160]
(176, 198]	(0, 22]	(308, 347]	(0, 39]	(320, 360]	(0, 40]
(198, 220]	(0, 22]	(347, 385]	(0, 39]	(360, 400]	(40, 80]
(220, 242]	(0, 22]	(385, 424]	(0, 39]	(400, 440]	(0, 40]
(242, 264]	(0, 22]	(424, 462]	(0, 39]	(440, 480]	(0, 40]
(264, 286]	(0, 22]	(462, 501]	(0, 39]	(480, 520]	(80, 120]
(286, 308]	(0, 22]	(501, 539]	(0, 39]	(520, 560]	(0, 40]
(308, 330]	(0, 22]	(539, 578]	(0, 39]	(560, 600]	(0, 40]
(330, 352]	(0, 22]	(578, 616]	(0, 39]	(600, 640]	(0, 40]
(352, 374]	(0, 22]	(616, 655]	(0, 39]	(640, 680]	(0, 40]
(374, 396]	(0, 22]	(655, 693]	(0, 39]	(680, 720]	(0, 40]
(396, 418]	(0, 22]	(693, 732]	(0, 39]	(720, 760]	(0, 40]
(418, 440]	(0, 22]	(732, 770]	(0, 39]	(760, 800]	(0, 40]
(440, 462]	(0, 22]	(770, 809]	(0, 39]	(800, 840]	(0, 40]

**Tabla 3.9 Políticas para los productos 0068-016 y PT-ATN-030 (cantidades en libras)**

<b>0068-016</b>	<b>0068-016_Política</b>	<b>PT-ATN-030</b>	<b>PT-ATN-030_Política</b>
(0, 9]	(61, 70]	(0, 50]	(650, 700]
(9, 18]	(53, 61]	(50, 100]	(600, 650]
(18, 26]	(44, 53]	(100, 150]	(550, 600]
(26, 35]	(35, 44]	(150, 200]	(500, 550]
(35, 44]	(0, 9]	(200, 250]	(450, 500]
(44, 53]	(0, 9]	(250, 300]	(400, 450]
(53, 61]	(0, 9]	(300, 350]	(0, 50]
(61, 70]	(0, 9]	(350, 400]	(300, 350]
(70, 79]	(0, 9]	(400, 450]	(0, 50]
(79, 88]	(0, 9]	(450, 500]	(0, 50]
(88, 96]	(0, 9]	(500, 550]	(0, 50]
(96, 105]	(0, 9]	(550, 600]	(100, 150]
(105, 114]	(0, 9]	(600, 650]	(0, 50]
(114, 123]	(0, 9]	(650, 700]	(0, 50]
(123, 131]	(0, 9]	(700, 750]	(0, 50]
(131, 140]	(0, 9]	(750, 800]	(0, 50]
(140, 149]	(0, 9]	(800, 850]	(0, 50]
(149, 158]	(0, 9]	(850, 900]	(50, 100]
(158, 166]	(0, 9]	(900, 950]	(0, 50]
(166, 175]	(0, 9]	(950, 1000]	(50, 100]
(175, 184]	(0, 9]	(1000, 1050]	(0, 50]

**Tabla 3.10 Detalle de los productos de la categoría A**

Rank	Items MBA	Descripción	Ventas 12 meses (lb.)	% Ítem	F. Acum. Ventas	Clase
1	<b>MP-ATN-001</b>	MP Atún BE 7-20 Ent. Cong.	452613	1%	23%	A
2	<b>PT-ATN-027</b>	AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 MOD	444150	1%	46%	A
3	<b>PT-ATN-029</b>	AlbacoraTrozos40UP Fda.50 MOD	376409	2%	65%	A
4	<b>MP-ATN-010</b>	MP Atún SJ 7-14 Ent. Cong.	79146	3%	69%	A
5	<b>PT-DRD-096</b>	PT Dorado Pieces	47620	3%	71%	A
6	<b>PT-ATN-028</b>	AlbacoraTrozos20-40 Fda.50 TRAD	44295	4%	73%	A
7	<b>PT-CLM-002</b>	PT Calamar Cuerpo M Cong.	28030	5%	75%	A
8	<b>PT-DRD-046</b>	PT Dorado Fletch L Cong.	26170	5%	76%	A
9	<b>PT-ATN-003</b>	PT Atún TrozosBE7-20L Cong.	25354	6%	77%	A
10	<b>0068-016</b>	CAM P&D TAIL-OFF 31-35 5.0 LB	23405	7%	79%	A
11	<b>PT-ATN-030</b>	AlbacoraTrozos40 UP Fda.50 TRAD	23165	7%	80%	A

# BIBLIOGRAFÍA

Cabeza, D. (2012). Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro. Barcelona.

Chamorro Corea, J., Diaz Camejo, J., Fuentes Espinoza, O., & Lovo Gutiérrez, H. (Nexo Revista Científica ). POLÍTICA DE INVENTARIOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN CADENAS DE SUMINISTRO MULTINIVEL. CASO DE ESTUDIO: UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN FARMACÉUTICA. 2018, 144-156.

Diezhandino, E. (4 de 7 de 2022). Keeper. Obtenido de Importancia y beneficios de la predicción de demanda: <https://keeper.io/es/2022/07/importancia-y-beneficios-de-la-prediccion-de-demanda/#:~:text=La%20previsi%C3%B3n%20de%20la%20demanda%20es%20el%20proceso%20de%20utilizar,de%20un%20producto%20o%20servicio.>

Icil Fundación, N. (2003). Estrategias y Operaciones Logísticas.

Macías Acosta, R., León Resendiz, A., & Limón Lozano, C. (2019). Análisis de la cadena de suministro por clasificación ABC. Revista Académica y Negocios, 83-94.

Saldarriaga, D. L. (2016). El Pronóstico de la demanda. Zonalogística, 1-6.

Srivastava, M., & Gupta, R. (2007). EOQ model for deteriorating items having constant and time-dependent demand rate. OPSEARCH 44, 251-260.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press.