



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Herramientas dinámicas para determinación de
política de inventario óptima bajo distintas
distribuciones de demanda

Dynamic tools for deciding on the best inventory
policy under different demand distributions

Autor

Adrián Calleja Visiedo

Director

Luis Mariano Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2017



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Herramientas dinámicas para
determinación de política de inventario
óptima bajo distintas distribuciones de
demanda

Dynamic tools for deciding on the best
inventory policy under different demand
distributions

425.18.94

Autor: Adrián Calleja Visiedo

Director: Luis Mariano Esteban Escaño

Fecha: 28/11/2018

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	4
3.2. COSTES DE UN INVENTARIO	5
3.3. NIVEL DE SERVICIO	7
4. DESARROLLO	11
4.1. POLÍTICAS A ESTUDIAR	11
4.1.1. <i>Modelo de Wilson (EOQ)</i>	11
4.1.2. <i>Modelo EOQ con incertidumbre</i>	15
4.1.3. <i>Modelo Stock Objetivo</i>	18
4.1.4. <i>Modelo Stock Objetivo con Pp 1</i>	20
4.1.5. <i>Modelo Stock Objetivo con Pp 2</i>	20
4.2. PROGRAMA INFORMÁTICO	21
4.2.1. <i>Datos de entrada</i>	21
4.2.2. <i>Primeros cálculos</i>	22
4.2.3. <i>Principio de Pareto</i>	25
4.2.4. <i>Cálculo de las políticas</i>	27
4.2.5. <i>Simulación – Demanda y Lead time</i>	28
4.2.6. <i>Simulación – Políticas inventarios</i>	31
4.2.7. <i>Optimización de costes</i>	33
4.2.8. <i>Reducción de inversión</i>	36
4.3. VERSATILIDAD DEL PROGRAMA	42
5. CONCLUSIONES	43
6. BIBLIOGRAFÍA	45

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Costes de un almacén.....	7
Ilustración 2 Distribución normal	8
Ilustración 3 Nivel de servicio.....	9
Ilustración 4 Representación stock EOQ 1	12
Ilustración 5 Representación stock EOQ 2	14
Ilustración 6 Representación stock EOQ 3	16
Ilustración 7 Representación stock Stock Objetivo	18
Ilustración 8 Demanda percentil 95 idProducto 1	23
Ilustración 9 Demanda percentil 95 idProducto 120.....	24
Ilustración 10 Demanda percentil 95 idProducto 730	24
Ilustración 11 Diagrama de Pareto	26
Ilustración 12 Demanda Real vs Simulada Artículo 169.....	29
Ilustración 13 Demanda Real vs Simulada Artículo 377.....	30
Ilustración 14 Aumento de coste vs Reducción de inversión	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Costes EOQs	17
Tabla 2 Costes EOQ vs Stock Objetivo	19
Tabla 3 "df1"	22
Tabla 4 "df2"	22
Tabla 5 "Tabla1"	24
Tabla 6 "Tabla2"	25
Tabla 7 Tabla Pareto	26



INDICES

Tabla 8 "Tabla2" (Parámetros)	28
Tabla 9 "TablaDemandas"	30
Tabla 10 "TablaLt"	31
Tabla 11 Condiciones y cantidad de pedido por política	32
Tabla 12 "TablaStock_1"	33
Tabla 13 "TablaReabast_1"	34
Tabla 14 "TablaRoturas_1"	34
Tabla 15 "TablaCotes_1"	35
Tabla 16 "TablaCostes_Minimos"	35
Tabla 17 Costes por política	36
Tabla 18 Artículos por política	36
Tabla 19 "TablaCostes_1" (Asociada a Politica_1; Stock Objetivo)	37
Tabla 20 "TablaCostes_Minimos" Ratios	38
Tabla 21 "TablaCostes_Minimos" Ratios descendientes	38
Tabla 22 Costes Artículo 661 Politica_2 vs Politica_4	39
Tabla 23 Costes Artículo 374 Politica_3 vs Politica_4	39
Tabla 24 "TablaComparacion_Costes_Inversion" Inicio	40
Tabla 25 "TablaComparacion_Costes_Inversion" Resumen	41
Tabla 26 "TablaReduccion_Inversion" para 100 artículos	41

1. RESUMEN

La gestión de inventarios es un aspecto clave para cualquier empresa, el nivel de stock que se disponga de cada artículo tendrá consecuencias directas en los beneficios de la empresa, siendo esta cantidad uno de los factores más importantes en el nivel de servicio ofrecido a los clientes.

La problemática radica en encontrar el nivel adecuado de inventario. Grandes volúmenes de stock son un riesgo, causantes de pérdidas por depreciación e ineficiencia, aparte de una gran inversión en capital. Por su parte, niveles excesivamente bajos no permiten satisfacer toda la demanda produciéndose pérdidas por roturas de stock.

Para tomar una decisión sobre qué cantidad mantener en inventario, cuándo y cuánto reponer es necesario analizar datos históricos sobre las ventas de cada producto, así como los costes que tiene asociado operar con ellos.

Con el fin de analizar todas estas variables y llegar a una solución óptima en cuanto a la forma de gestionar cada uno de los productos, se ha creado un programa informático en lenguaje Python, capaz de ofrecer de forma independiente para cada uno de los artículos la mejor alternativa entre las 4 políticas estudiadas (EOQ, Stock Objetivo, Stock Obj pp1, Stock Obj pp2). Justificando esta decisión en base a resultados obtenidos en simulaciones de cada modelo.

Es fundamental que estas simulaciones reflejen la realidad del producto, para ello se ha trabajado extensamente en la parametrización de la demanda, filtrando para su estudio en un primer momento los datos atípicos, y posteriormente generando valores con la misma frecuencia y distribución, extraídas del histórico.

Reducir los costes totales es la principal función del programa, aunque también aporta soluciones alternativas que permiten reducir el capital invertido en stock.

Para el ejemplo analizado, las políticas "EOQ" y "Stock Obj pp1" han logrado los mejores resultados, aunque todos los modelos estudiados tienen una significativa presencia en el resultado final.

1.1. PALABRAS CLAVE

Política de inventario, EOQ, Stock objetivo, simulación, Python.

2. ABSTRACT

Inventory management is a key aspect for any company, the level of stock available for each item will have direct consequences on the profits of the company, this is also one of the most important factors in the level of service offered to customers.

The problem lies in finding the right level of inventory. Large volumes of stock are a risk, causing losses due to depreciation and inefficiency, apart from the large capital investment they entail. While excessively low levels do not allow to satisfy all the demand producing losses due to stock breakages.

To make a decision about how much to maintain in inventory, when and how much to replenish, it is necessary to analyze historical data on the sales of each product, as well as the cost associated with operating with them.

In order to analyze all these variables and reach an optimal solution in terms of products management it has been created a computer program in Python language, able to offer independently for each of the items the best alternative between the 4 policies studied (EOQ, Stock Objective, Stock Obj pp1, Stock Obj pp2). Justifying this decision based on results obtained in simulations of each model.

It is essential that these simulations reflect the reality of the product, for this purpose, extensive work has been done on the parameterization of the demand, filtering the atypical data for the first time, and then generating values with the same frequency and distribution extracted from the historical.

Reducing the total cost is the main function of the program, although it also provides alternative solutions that reduce the capital invested in stock.

For the example analyzed, the policies "EOQ" and "Stock Obj pp1" have achieved the best results, although all the models studied have a significant presence in the final result.

3. INTRODUCCIÓN

El valor de la logística para una organización es indudable, las decisiones que se toman en esta área son de vital importancia para la empresa ya que tienen un impacto directo en la calidad de servicio ofrecida. Una correcta gestión de las operaciones genera valor para el cliente al situar el producto en el momento y lugar deseados, de modo que la visión empresarial respecto a su gestión está pasando de ser una fuente de generación de costos a una oportunidad de generar demanda.

Los inventarios juegan un papel fundamental en la cadena de suministro y son críticos en la viabilidad de la organización ya que por lo general representan la mayor parte del capital circulante de la empresa, con las consecuencias que esto implica en la tesorería y su relación con la capacidad de la empresa de hacer frente a sus pagos a corto plazo.

Pese a que existen numerosos argumentos en su contra desde la aparición de políticas de just in time, lo cierto es que la gran mayoría de empresas requiere de inventarios para poder funcionar de forma práctica y ofrecer un nivel de servicio competitivo a sus clientes. Respecto a su rentabilidad, aunque mantener inventarios tiene un coste directo asociado, puede ayudar a reducir los costes totales al permitir desacoplar las compras y la producción de la demanda, pudiendo realizar periodos más largos de producción o compras en mayores cantidades por un precio unitario menor.

La principal ventaja que aportan es poder amortiguar la variabilidad de la demanda a lo largo del año. El inventario permite anticiparse y hacer frente a picos de demanda inesperados evitando así gran cantidad de ventas perdidas debido a esa incertidumbre. Aunque también aportan otra gran cantidad de ventajas, entre las principales podemos destacar:

- Mayor flexibilidad e independencia en las operaciones
- Separar procesos de producción y distribución
- Proteger frente a cambios de precio
- Obtener descuentos por volumen de pedido
- Respuesta frente a productos en mal estado o retrasos del proveedor

De modo que una correcta gestión busca encontrar el punto óptimo entre dos extremos, un nivel excesivo de inventario causa grandes costos de operación y grandes

Introducción

inversiones. Mientras que un nivel inadecuado no permite satisfacer incrementos de la demanda produciéndose pérdidas en caso de rotura de stock.

3.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

Este problema de la política óptima de inventario, que trata de dar respuesta a las preguntas: ¿Cuánto pedir? y ¿Cuándo pedir? Es el principal punto a resolver, la gestión de inventarios parte de los niveles de stock que quiera disponer la empresa, y el punto óptimo de este parámetro varía bajo los diferentes supuestos de demanda que se pueden dar en el mercado.

Para cada producto de la empresa, la política óptima de inventario se puede obtener siguiendo distintos modelos y es dependiente de diferentes parámetros. Es aquí donde toma importancia el uso de herramientas dinámicas que ayuden de manera efectiva al tratamiento de datos y el análisis de los resultados.

Por lo tanto, crear una herramienta capaz de analizar datos de forma rápida y efectiva para llegar a una solución que se considere óptima, justificándola mediante simulaciones en las que se hayan alcanzado los mejores valores respecto a un criterio (normalmente, menor coste total anual) es el principal objetivo del proyecto.

Dicha herramienta consistirá en un programa informático creado mediante código Python.

Es importante fijar desde un principio cuales van a ser los datos de entrada al programa ya que este trabajará únicamente a partir de ellos. Estos deben ser los mínimos posibles y en un formato sencillo, para así conseguir una herramienta útil, válida para cualquier empresa y que no requiera una gran inversión de tiempo para su "puesta en marcha". Por lo que trabajará únicamente a partir de 2 tablas, un histórico de demanda y un maestro de productos.

El programa, devolverá como salida a un Excel cuál será la mejor política a seguir para cada uno de los productos de la empresa de forma independiente, acompañado del coste estimado en las simulaciones. Por lo que es importante definir cuáles son las políticas a estudiar. Se trabajará con los siguientes 4 modelos (se explican más adelante).

- Modelo EOQ
- Modelo Stock Objetivo
- Modelo Stock Objetivo con pp1
- Modelo Stock Objetivo con pp2

Otro de los objetivos a buscar es crear una herramienta actualizable y versátil, es decir, que se puedan ir actualizando las tablas de entrada con nuevas filas de demanda y tenga en cuenta estos nuevos valores a la hora de calcular los parámetros de controlan cada una de las políticas. O también, poder restringir los datos de entrada si se desea buscar un resultado más exacto para un mes en particular o prescindir de los datos más antiguos de demanda si ya no reflejan la realidad del producto.

Antes de pasar con el desarrollo de la solución es necesario explicar algunos conceptos teóricos sobre los inventarios que van a estar presentes durante todo el trabajo y en base a ellos se va a llegar en muchas ocasiones hasta la solución del problema.

3.2. COSTES DE UN INVENTARIO

Son los costes en los que se incurre al trabajar con almacenes, se pueden clasificar en 3 grupos principales:

- Coste de emisión: Es el coste de lanzar una orden de reabastecimiento, independientemente de la cantidad solicitada. Abarca costes como la preparación de maquinaria, transporte, seguros, manipulación en el punto de recepción, costes administrativos...

Aunque es cierto que según lo expresado anteriormente el coste de adquisición variaría levemente en función del tamaño de compra, por comodidad a la hora de trabajar se suele establecer como una cantidad fija. De modo que, a final de año, el coste total será directamente proporcional al número de pedidos realizados.

- Coste de almacenamiento: Es el coste que acarrea disponer de cierto nivel de inventario. Son directamente proporcionales a la cantidad de stock en inventario.

Normalmente aquí se incluyen los costes de capital, es decir, el coste de oportunidad que está generando tener ese dinero invertido en stock en lugar de cualquier otro lugar que genere beneficios. También se incluyen

Introducción

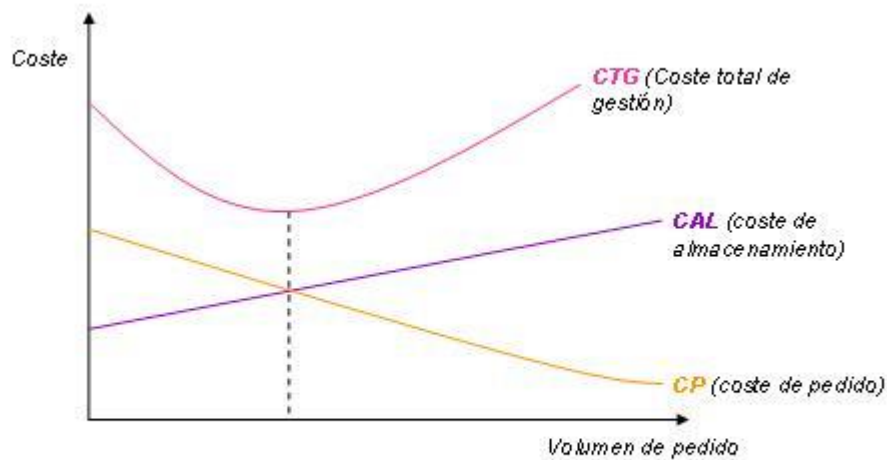
los costes del establecimiento (personal, alquiler, impuestos, luz, seguros...) y costes como el deterioro, la obsolescencia, mermas...

- Coste de ruptura: Son los costes en los que se incurre cuando un cliente solicita un producto que no se puede satisfacer por falta de existencias. Es decir, los costos por pérdida o retraso en las ventas.

Son muy complicados de calcular ya que dependen en gran medida de la naturaleza del cliente, si este está dispuesto a esperar se incidirá en un pequeño sobrecoste por la tramitación y complejidad añadida en la venta o al tener que realizar un transporte excepcional, pero se mantendrá la venta. En caso de que el cliente cancele el pedido el costo es el beneficio que se habría obtenido de aquella venta, o superior, si aparte se quieren considerar otros factores más subjetivos como la pérdida de ventas futuras, publicidad negativa, esfuerzos adicionales al tratar de recuperar algún cliente, indemnizaciones...

Por último, el costo de compra es el precio que se paga por los artículos, normalmente lo fija el proveedor por unidad de artículo y suele ser indiferente a la hora de minimizar el coste total del almacén ya que no interfiere con los otros costes; a no ser que el proveedor ofrezca rappels por compras en donde se reduce el precio unitario de los artículos si se supera cierto volumen de ventas.

En la siguiente gráfica se puede ver una representación de cómo varía el coste total de gestión de un producto al final de un periodo en función de la cantidad demandada en las órdenes de reabastecimiento.



Relación entre el volumen de pedido y el coste de gestión de inventarios
(como CA no depende del volumen de pedido, no aparece en la gráfica)

Ilustración 1 Costes de un almacén

Si se solicitan pocas unidades en cada orden, será necesario realizar muchos pedidos a lo largo del año y por lo tanto los costes de emisión serán elevados mientras que los costes de almacenaje, al disponer siempre de poco stock en el almacén serán bastante reducidos. Sin embargo, si en los reabastecimientos se demandan muchas unidades, sucederá lo contrario, no se incurrirá en grandes costes de emisión al tener que realizar pocos pedidos, pero sí en grandes costes de almacenaje al gestionar excesivas cantidades de stock.

Los costes de ruptura no aparecen representados en la gráfica ya que son impredecibles y no tienen por qué existir. Pero lo habitual es que sean menores cuanto mayores sean los niveles de stock ya que será más improbable encontrarse en una situación de rotura.

3.3. NIVEL DE SERVICIO

El concepto de nivel de servicio es un parámetro fundamental en la gestión de inventarios que representa la probabilidad de no encontrarse en una situación de falta de existencias. Este valor no depende de factores externos como la demanda y el lead time si no que es la propia empresa la que establece el nivel que considere más oportuno para cada uno de sus productos.

Introducción

Al ser un parámetro controlado directamente por los administradores es primordial conocer cómo funciona ya que no es práctico establecer un nivel de servicio del 100% en todos los productos o clientes. De hecho, matemáticamente es algo imposible, alcanzar un nivel de inventario que asegure 0 roturas de stock supondría tener unas existencias infinitas ya que por definición la demanda es incierta y aunque normalmente se ajusta a ciertas distribuciones más o menos controladas, puede alcanzar cualquier valor en un momento dado.

Ni siquiera es lógico tener grandes niveles de servicio en todos los productos, llevará probablemente a una sobreocupación del almacén, una enorme inversión y grandes costos de mantenimiento y operación. Mientras que niveles insuficientes ocasionarán demasiadas roturas de stock, produciéndose en este caso las pérdidas por falta de existencias.

En definitiva, el nivel de servicio resume la problemática a la que se enfrentan todos los almacenes para alcanzar el nivel adecuado de stock.

El valor del nivel de servicio se emplea para calcular la inversa de la distribución normal estándar acumulativa de media 0 y desviación estándar 1, con dicha probabilidad. De esta manera se obtiene el valor Z.

Z es el número de desviaciones estándar en la curva de distribución normal, más allá de la de media de la distribución para el punto en el que se represente el % deseado de área (Nivel de servicio) por debajo de la curva.

En el gráfico se puede ver la distribución normal y el porcentaje de área que representa cada una de las desviaciones estándar más allá de la media.

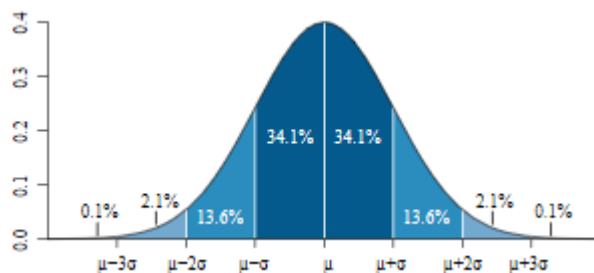


Ilustración 2 Distribución normal

Por lo que si cubrimos una única desviación estándar ($Z = 1$) estaríamos teniendo un nivel de servicio del 84 % (0.1 + 2.1 + 13.6 + 34.1 + 34.1). Para otros valores de nivel de servicio obtenemos:

- 90 % -> $Z = 1.28$
- 95 % -> $Z = 1.65$

- 99 % -> $Z = 2.33$
- 99.5 % -> $Z = 2.58$

En el siguiente gráfico, el eje x indica el nivel de servicio, mientras que el eje y, la cantidad de unidades de stock necesarias para alcanzarlo. Lógicamente las unidades serán diferentes para cada producto según los parámetros de la demanda y el lead time, como también lo será la curva representada (aunque similar en su forma), pero es un ejemplo muy representativo del problema de rendimientos decrecientes que se está tratando.

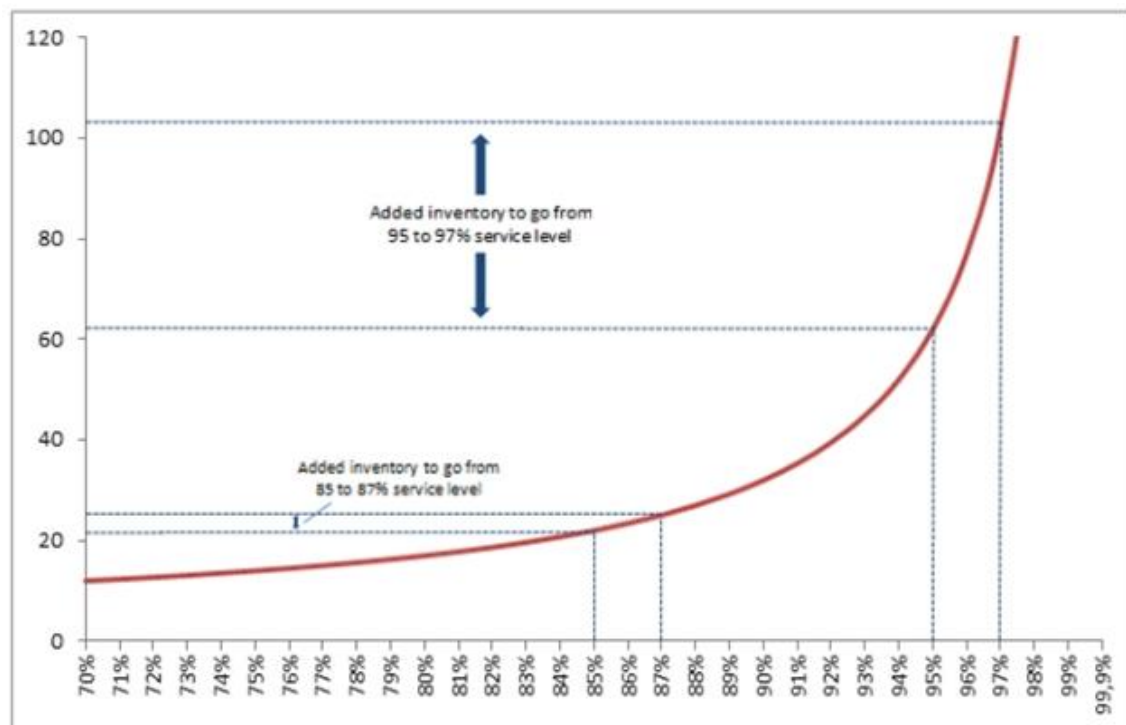


Ilustración 3 Nivel de servicio

Es decir, se da una situación en la que cada vez resulta menos rentable aumentar el nivel de servicio debido a los grandes incrementos que este aumento supone en el nivel de stock. En la gráfica se puede ver como el mismo aumento del 2 % requiere añadir una cantidad muy superior de unidades en el caso de pasar del 95 al 97 % de nivel de servicio, que en el caso de pasar de 85 a 87 %.

Un parámetro directamente relacionado con el nivel de servicio es la satisfacción del cliente, significa que los clientes encuentren el producto que buscan en el momento que lo solicitan, se puede expresar de la siguiente manera: $\text{Ventas/Demanda} * 100$.

Introducción

Se trata de un indicador muy relevante ya que la disponibilidad junto a la calidad del producto fidelizará a los clientes, mientras que, en caso de no poder satisfacer sus pedidos, no solamente se estarán perdiendo ingresos, si no que el cliente irá a buscar esas necesidades en la competencia.

El nivel de servicio puede emplearse como una herramienta más de marketing, las ventas se ven afectadas por el nivel de servicio proporcionado, es decir si aumenta el nivel, aumentarán las ventas. Por lo que aumentarlo puede proporcionar ingresos adicionales aparte de, no solamente, la cantidad de ventas que se estén dejando de realizar actualmente por falta de existencias.

Aparte, resulta mucho más sencillo mantener a un cliente actual que atraer a uno nuevo, lo que se consigue entre otras cosas, evitando roturas de stock.

Pero es decisión de cada empresa establecer los niveles de servicio que considere adecuados o entre los que pueda trabajar.

4. DESARROLLO

4.1. POLÍTICAS A ESTUDIAR

4.1.1. Modelo de Wilson (EOQ)

El modelo matemático clásico más tradicional de gestión de inventarios es el modelo de la Cantidad Económica de Pedido (EOQ, por sus siglas en inglés), desarrollado por Ford Harris en 1913 y popularizado por Wilson en 1934. Nos da la solución que minimiza el coste total de inventario durante el periodo analizado.

Para ello, requiere conocer los costes de emisión del pedido, los costes de mantenimiento unitario en el almacén, la demanda total durante el ejercicio (que debe ser constante) y el tiempo de reabastecimiento, que también debe ser constante.

El método EOQ minimiza la siguiente función:

$$CT = \frac{q}{2} \cdot Cm + \frac{Q}{q} \cdot Ce + Q \cdot C$$

Donde:

CT = Coste total del inventario

q = Cantidad del pedido

Cm = Costo unitario de mantenimiento anual

Q = Demanda anual del producto

Ce = Costo de realización de un pedido

C = Costo unitario del producto

El último factor ($Q \cdot C$) es indiferente a la hora de calcular el óptimo de la función ya que se va a incurrir inevitablemente en el precio de adquisición de los productos. De modo que el mínimo se encuentra en el punto donde se igualen los costes asociados al mantenimiento y los costes asociados a las órdenes de compra.

Por lo que derivando en función de q obtendremos la cantidad óptima a reabastecer que minimiza el coste total, es decir, EOQ:

Desarrollo

$$q^* = \sqrt{\frac{2QCe}{Cm}}$$

En cuanto al momento en el que solicitar dicha orden, el punto de pedido óptimo dependerá exclusivamente del tiempo de reabastecimiento (Lt) y la demanda media diaria (d).

$$Pp^* = d \cdot Lt$$

De esta forma, la heurística a seguir es bastante sencilla, solicitar q^* unidades a nuestro proveedor cuando el nivel de stock iguale Pp^*

A continuación, podemos ver en la siguiente gráfica un ejemplo de cómo varía el nivel de stock de un producto en función del tiempo atendiendo al modelo EOQ con los siguientes parámetros de entrada:

$$d = 40 \text{ u}, Lt = 3 \text{ días}, Ce = 40 \text{ €}, Cm = 5 \text{ €}$$

Aplicando las fórmulas vistas anteriormente obtenemos:

$$q^* = 480 \text{ u}, Pp^* = 120 \text{ u}$$

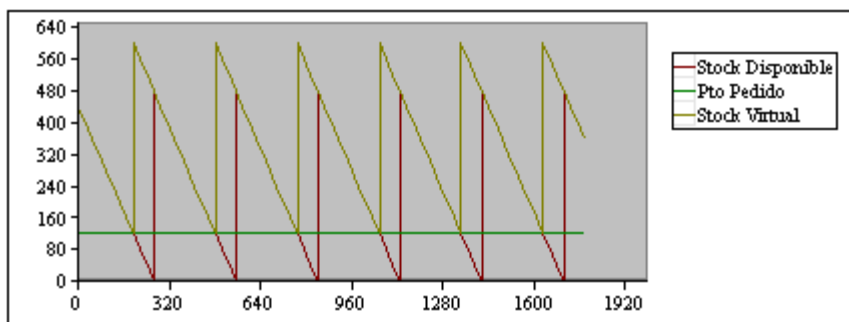


Ilustración 4 Representación stock EOQ 1

La gráfica es una representación de la variación del nivel de stock.

El eje Y representa la cantidad de stock, el eje X el tiempo (en horas).

El stock virtual representa la suma del stock disponible y la cantidad ya ordenada, pero aún pendiente por recibir.

El modelo se ajusta perfectamente, cuando el stock baja de las 120 unidades, se emite la orden de reabastecimiento, que llegará en este caso 3 días más tarde ($L_t = 3$) justo cuando el stock se encuentre en 0 unidades sin producirse ninguna ruptura.

Analizando los resultados obtenidos durante 360 días de simulación se puede ver que se ha gestionado correctamente la demanda de cada uno de los días (40 unidades diarias, 14400 unidades totales), ha habido un total de 30 órdenes de reabastecimiento emitidas (30 ciclos de inventario) y todas han llegado antes de producirse roturas de stock. Por último, el stock promedio ha sido de 240 unidades.

Utilizando los datos anteriores en los que se basa la simulación, el coste total de la gestión de este producto a final de año se calcularía de la siguiente manera:

$$CT = C \text{ Mantenimiento} + C \text{ Emision} + Q \cdot C$$

$$\text{Coste Mantenimiento} = \frac{q}{2} \cdot C_m = \frac{480}{2} \cdot 5 = 1200 \text{ €}$$

$$\text{Coste Emision} = \frac{Q}{q} \cdot C_e = \frac{14400}{480} \cdot 40 = 1200 \text{ €}$$

$$CT = \frac{q}{2} \cdot C_m + \frac{Q}{q} \cdot C_e + Q \cdot C = 1200 + 1200 + (14400 \cdot C)$$

Como se había explicado anteriormente, los costes de emisión y mantenimiento se igualan en el punto mínimo de la función y su suma representa el coste de la gestión de ese producto. El precio C , al que se compren los productos es una variable que no influye en la optimización de la cantidad a ordenar.

El modelo de Wilson aporta la solución idónea para el problema planteado, pero tiene grandes inconvenientes que limitan mucho la posibilidad de aplicarlo a una situación real y es que exige los siguientes supuestos:

- No contempla incertidumbre ni en la demanda ni en el lead time
- Demanda y lead time deben ser conocidos y constantes
- No contempla la posibilidad de rotura de stock, situación que en caso de producirse acarrearía gastos extraordinarios y por lo tanto el coste total sería superior al de la previsión
- Los costes de pedido son los mismos para todas las órdenes
- Los costes de mantenimiento son proporcionales al volumen de inventario

Desarrollo

Algunas de las anteriores condiciones pueden asumirse sin incurrir en grandes errores, pero considerar la demanda y el lead time constantes es una condición bajo la que casi ninguna empresa trabaja.

De modo que ahora utilizaremos la misma solución ante una situación mucho más próxima a la realidad en la que se mantienen los costes de emisión y mantenimiento anteriores, pero tanto la demanda como el lead time se estiman en un intervalo con una pequeña incertidumbre.

$$d = 40 \text{ u}, s_d = 15 \text{ u}, Lt = 3 \text{ días}, s_{Lt} = 1 \text{ día}, Ce = 40 \text{ €}, Cm = 5 \text{ €}, Cs = 8 \text{ €}$$

En este caso la demanda y el lead time mantienen sus valores anteriores como el centro de una distribución normal, pero ahora están sometidos a desviaciones típicas de 15 y 1 respectivamente. El coste de ruptura se ha establecido en 8 € por unidad.

Aplicando los resultados anteriores:

$$q^* = 480 \text{ u}, Pp^* = 120 \text{ u}$$

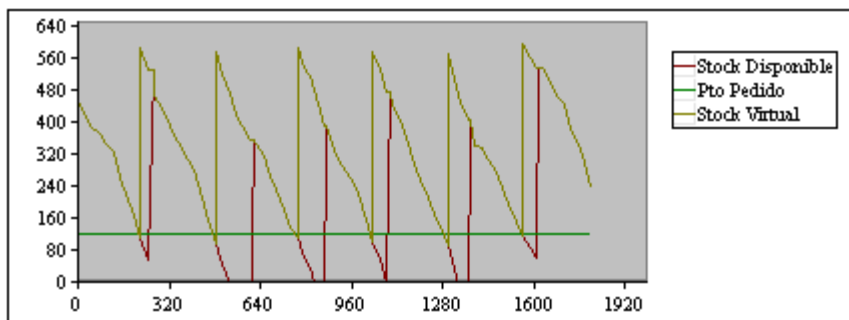


Ilustración 5 Representación stock EOQ 2

Se puede ver a simple vista que la gráfica no se comporta de manera “perfecta” como en el caso sin incertidumbre, se producen roturas de stock al final de varios ciclos y en el resto el reabastecimiento no llega exactamente cuando el stock es 0 unidades.

En la simulación, durante los 360 días, de la demanda total ha sido de 14460 unidades de las cuales no se ha podido satisfacer 604 unidades, lo que representa una rotura de stock de algo más del 4 % habiéndose producido faltantes en 15 de los 30 ciclos de reabastecimiento realizados. El stock promedio ha sido de 242 unidades.

Utilizando estos datos en las fórmulas volvemos a calcular los costes:

$$\text{Coste Mantenimiento} = \text{Stock Promedio} \cdot Cm = 242 \cdot 5 = 1210 \text{ €}$$

$$\text{Coste Emision} = N^{\circ} \text{ Pedidos} \cdot Ce = 30 \cdot 40 = 1200 \text{ €}$$

Los costes de emisión y mantenimiento se mantienen iguales, pero en este caso hay que añadir el coste que supongan las ventas insatisfechas por rotura de stock. Lo más habitual es aplicar una tasa por producto perdido, aunque son costes verdaderamente difíciles de calcular y cada empresa decidirá su propio método a emplear o conocerá las condiciones bajo las que trabaje. Es probable también que el coste aplique importes adicionales por cada pedido que no se haya podido satisfacer correctamente.

En nuestro caso, multiplicaremos por la cantidad fijada en un principio ($C_s = 8 \text{ €}$).

$$\text{Coste Roturas} = N^{\circ} \text{ Roturas} \cdot C_s = 604 \cdot 8 = 4832 \text{ €}$$

Por lo que añadidos al coste total el resultado es:

$$CT = C \text{ Mantenimiento} + C \text{ Emision} + C \text{ Roturas} + Q \cdot C = 1210 + 1200 + 4832 + (14460 \cdot C)$$

Evidentemente el impacto económico de estas roturas dependerá del valor y la forma en la que sean consideradas, pero es algo que cualquier empresa desea evitar o al menos poder controlar.

4.1.2. Modelo EOQ con incertidumbre

Ante esta situación es necesario adaptar las fórmulas para que tengan en cuenta estas variaciones tanto en la demanda como en el lead time y así calcular con mayor precisión los parámetros del inventario.

Autores como Ronald H. Ballou proponen introducir esta incertidumbre a la hora de calcular el punto de pedido añadiendo lo que podría considerarse un stock de seguridad.

$$\text{Stock de seguridad} = \Phi \sqrt{(Lt \cdot s_d^2) + (d^2 \cdot s_{Lt}^2)}$$

Donde:

Φ = Probabilidad acumulada inversa en distribución normal del nivel de servicio deseado

Lt = Lead time

s_d = Desviación estándar de la demanda

d = Demanda media diaria

s_{Lt} = Desviación estándar del Lead time

De modo que la nueva estrategia vendría definida por las siguientes formulas:

Desarrollo

$$q^* = \sqrt{\frac{2QCe}{Cm}}$$

$$Pp^* = d \cdot Lt + (\Phi \sqrt{(Lt \cdot s_d^2) + (d^2 \cdot s_{Lt}^2)})$$

Aumentando así el realismo del modelo al contemplar las variaciones medias que experimentan la demanda y el lead time.

Ahora resolveremos el mismo problema mediante esta fórmula (con stock de seguridad) para ver cómo cambian los resultados.

$d = 40 \text{ u}$, $s_d = 15 \text{ u}$, $Lt = 3 \text{ días}$, $s_{Lt} = 1 \text{ dia}$, $Ce = 40 \text{ €}$, $Cm = 5 \text{ €}$, $Cs = 8 \text{ €}$, $\phi = 95\%$

El nivel de servicio se ha establecido para este ejemplo en un 95 %, por lo que obtenemos:

$$q^* = 480 \text{ u}, Pp^* = 198 \text{ u}$$

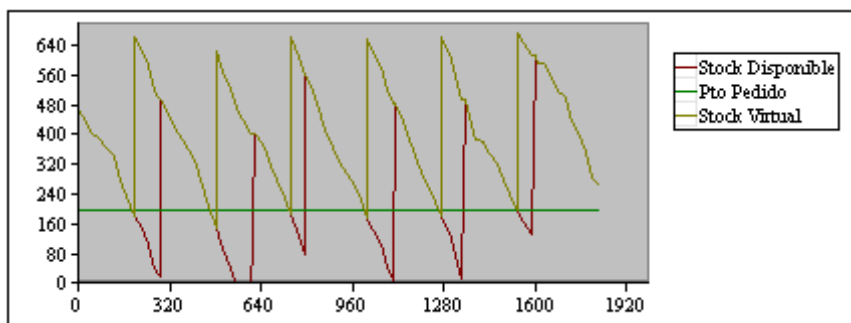


Ilustración 6 Representación stock EOQ 3

La demanda total en los 360 días ha sido de 14460 unidades y no ha habido stock para atender 66 de ellas. Las roturas se han producido en 2 de los 30 ciclos de stock a lo largo de la simulación. Mientras que el stock promedio ha sido de 320 unidades.

Evidentemente al añadir este stock de seguridad al punto de pedido los pedidos se realizan cuando hay una mayor cantidad de producto en el inventario siendo así más improbable una rotura a final de ciclo.

Por lo que los costes serían:

$$\text{Coste Mantenimiento} = \text{Stock Promedio} \cdot Cm = 320 \cdot 5 = 1600 \text{ €}$$

$$\text{Coste Emision} = N^{\circ} \text{ Pedidos} \cdot C_e = 30 \cdot 5 = 1200 \text{ €}$$

$$\text{Coste Roturas} = N^{\circ} \text{ Roturas} \cdot C_s = 66 \cdot 8 = 528 \text{ €}$$

$$CT = C \text{ Mantenimiento} + C \text{ Emision} + C \text{ Roturas} + Q \cdot C = 1600 + 1200 + 528 + (14460 \cdot C)$$

En la siguiente tabla podemos comparar los resultados obtenidos

Tabla 1 Costes EOQs

	EOQ básico		EOQ incertidumbre	
	Valores	Coste	Valores	Coste
Demanda	14460	C	14460	C
Roturas	604	4.832 €	66	528 €
Ord. Reab	30	1.200 €	30	1.200 €
Fallos ciclos	15	-	2	-
Stock medio	242	1.210 €	320	1.600 €
Coste Total		7.242 €		3.328 €

Fijándonos únicamente en el coste monetario, se aprecia una clara mejora al introducir al introducir el stock de seguridad, ya que ayuda a controlar la incertidumbre de la demanda y el lead time. El coste disminuye de 7242€ a 3328€.

Pero este resultado depende en gran medida de los costes fijados en un principio (e inventados para este ejemplo) Por lo que resulta más interesante comparar cómo han sido las simulaciones respecto al resto de cifras.

Las principales mejoras se encuentran en el número de unidades no satisfechas, que pasan de 604 a tan solo 66 y en la cantidad de ciclos donde se producen estas roturas (en 15 de 30 ciclos en el primer caso, frente a 2 de 30 ciclos en el segundo). En este caso los fallos en ciclos no suponían ningún coste adicional, pero dependerá de la situación bajo a que trabaje cada empresa.

Por último, el stock medio se ha incrementado de 242 a 320 unidades, gracias a lo cual se ha podido satisfacer una mayor cantidad de demanda, pero como parte negativa supone un mayor coste de almacenaje (compensado en este caso con la reducción en los costes de ruptura), una mayor inversión en stock y mayores necesidades de espacio.

4.1.3. Modelo Stock Objetivo

Otro método distinto para la gestión de inventarios se trata del modelo de Stock Objetivo, en este caso, se calcula una cantidad de stock máximo a disponer y se fija un periodo de tiempo (T_p) tras el cual se repone el stock emitiendo la orden necesaria para alcanzar este stock objetivo.

El stock de ciclo cubre las necesidades de stock para la demanda media durante el lead time y el tiempo entre pedidos.

$$\text{Stock ciclo} = d(Lt + T_p)$$

El stock de seguridad se calcula mediante la misma fórmula que en el modelo EOQ, proporciona una mayor cantidad de stock para protegerse ante la incertidumbre de la demanda.

$$\text{Stock seguridad} = \Phi \sqrt{((Lt + T_p) \cdot s_d^2) + (d^2 \cdot s_{Lt}^2)}$$

Por último, el stock objetivo será la suma de stock de ciclo y stock de seguridad.

$$\text{Stock objetivo} = \text{Stock ciclo} + \text{Stock seguridad}$$

Veamos un ejemplo de cómo funciona resolviendo el mismo problema ahora con este otro método.

$d = 40 \text{ u}$, $s_d = 15 \text{ u}$, $Lt = 3 \text{ días}$, $s_{Lt} = 1 \text{ día}$, $C_e = 40 \text{ €}$, $C_m = 5 \text{ €}$, $C_s = 8 \text{ €}$, $\Phi = 95\%$, $T_p = 12 \text{ días}$

El tiempo entre pedidos se ha fijado en 12 días ya que era aproximadamente el periodo en el cual transcurría un ciclo en el modelo EOQ. De esta forma, se producirán el mismo número de órdenes de reabastecimiento lo que permitirá comparar los resultados que producen las diferentes políticas.

$$\text{Stock ciclo} = 600, \text{Stock seguridad} = 116, \text{Stock objetivo} = 716$$

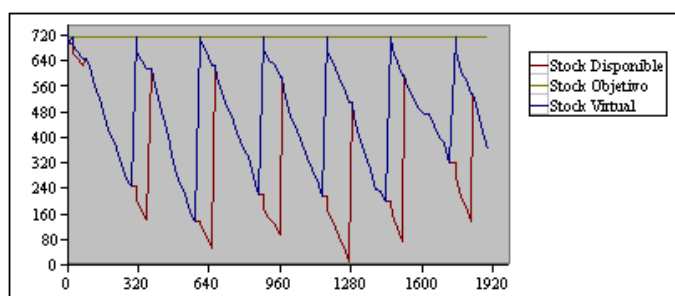


Ilustración 7 Representación stock Stock Objetivo

En este caso los pedidos no se realizan siempre en el mismo punto si no al pasar el periodo de tiempo fijado. Es probable que (como sucede en el ejemplo) el stock disponible nunca alcance el stock objetivo debido a la demanda existente durante el lead time.

La demanda total ha sido de 14460 unidades de las cuales no se han podido satisfacer 86 unidades, produciéndose roturas de stock en 3 de los 30 ciclos. El stock promedio ha sido de 340 unidades.

Por lo que los costes serían:

$$\text{Coste Mantenimiento} = \text{Stock Promedio} \cdot C_m = 340 \cdot 5 = 1700 \text{ €}$$

$$\text{Coste Emision} = N^{\circ} \text{ Pedidos} \cdot C_e = 30 \cdot 5 = 1200 \text{ €}$$

$$\text{Coste Roturas} = N^{\circ} \text{ Roturas} \cdot C_s = 86 \cdot 8 = 688 \text{ €}$$

$$CT = C \text{ Mantenimiento} + C \text{ Emision} + C \text{ Roturas} + Q \cdot C = 1700 + 1200 + 688 + (14460 \cdot C)$$

Si comparamos estos 2 métodos podremos ver como se han comportado ante el mismo problema.

Tabla 2 Costes EOQ vs Stock Objetivo

	EOQ		Stock Objetivo	
	Valores	Coste	Valores	Coste
Demanda	14460	C	14460	C
Roturas	66	528 €	86	688 €
Ord. Reab	30	1.200 €	30	1.200 €
Fallos ciclos	2	-	3	-
Stock medio	320	1.600 €	340	1.700 €
Coste Total		3.328 €		3.588 €

En este caso habría sido más rentable emplear el modelo EOQ ya que sus resultados han sido mejores tanto en el coste total de la gestión del producto (3.328 € frente a 3.588 €) como en el resto de características a considerar (menores roturas tanto en unidades como en ciclos y menor stock promedio).

Ahora veremos de forma rápida otros 2 modelos que podrían considerarse pequeñas variantes de este modelo de Stock Objetivo. Resulta interesante realizar este tipo de pruebas en las que se modifica ligeramente la forma de calcular algún parámetro o la manera de proceder de la política en cuanto a los reabastecimientos en caso de que se ajusten con mayor precisión a la demanda de algún producto.

4.1.4. Modelo Stock Objetivo con Pp 1

En este modelo se calcula el stock objetivo exactamente igual que en el modelo anterior.

$$\text{Stock ciclo} = d(Lt + Tp)$$

$$\text{Stock seguridad} = \Phi \sqrt{((Lt + Tp) \cdot s_d^2) + (d^2 \cdot s_{Lt}^2)}$$

$$\text{Stock objetivo} = \text{Stock ciclo} + \text{Stock seguridad}$$

Pero en este caso no se fija un tiempo de reabastecimiento tras el cual reponer el stock, en su lugar se empleará un punto de pedido y cuando el nivel de inventario baje de esa cantidad, se emitirá la orden necesaria para llegar al stock objetivo.

$$Pp = d \cdot Lt$$

4.1.5. Modelo Stock Objetivo con Pp 2

Este modelo funciona de la misma forma que el anterior, pero calcula los parámetros que lo gestionan de manera diferente. En este caso, el Tiempo entre pedidos no se tiene en cuenta a la hora de calcular el stock de ciclo, con las consecuencias que esto tendrá para el resto de parámetros.

$$\text{Stock ciclo} = d \cdot Lt$$

$$\text{Stock seguridad} = \Phi \sqrt{((Lt + Tp) \cdot s_d^2) + (d^2 \cdot s_{Lt}^2)}$$

$$\text{Stock objetivo} = \text{Stock ciclo} + \text{Stock seguridad}$$

Hasta el momento únicamente se ha analizado un mismo caso sencillo, por lo que no es suficiente, considerando el gran número de variables que afectan a este tipo de problemas, para llegar a alguna conclusión relevante respecto a las diferentes políticas.

4.2. PROGRAMA INFORMÁTICO

A continuación, se describirá el programa informático que se ha creado en Jupyter Notebook mediante lenguaje de programación Python (el código empleado se encuentra en el Anexo I).

Al mismo tiempo se mostrará un ejemplo con datos reales de una empresa del sector de la construcción para visualizar la solución.

4.2.1. *Datos de entrada*

Para que funcione es necesario partir de unos datos iniciales que describirán el problema a resolver. Es importante que estos sean los mínimos y con un formato lo más sencillo posible para facilitar la puesta en marcha del programa al requerir únicamente de escasa información recogida por cualquier empresa y de una manera bastante estandarizada.

Se partirá de un histórico de ventas con la demanda de cada uno de los productos de la empresa (cuanto mayor sea el periodo proporcionado, más precisa será la solución) y un maestro de artículos en donde se especifiquen características básicas de cada producto, como: el precio, lead time promedio con su desviación y costes de emisión, mantenimiento y ruptura.

Aquí un ejemplo de cómo proporcionar estos datos de entrada mediante un fichero Excel. En el caso analizado se parte de un histórico de ventas de aproximadamente 4 años y un maestro de productos de 500 artículos.

Desarrollo

Tabla 3 "df1"

idSecuencia	idProducto	udsDemanda
20140701	1	28
20140701	2	392
20140701	3	232
20140701	4	396
20140701	5	226
20140701	6	124
20140701	7	30
20140701	8	235
20140701	9	30
20140701	10	17
20140701	11	179
20140701	12	17
20140701	13	11
20140701	14	88

Tabla 4 "df2"

idProducto	precio	Lt	desLt	Ce	Cm	Cs
488	26,588	16	6	146,234	2,6588	39,882
728	2,277	6	3	12,5235	0,2277	3,4155
108	2,53	5	2	13,915	0,253	3,795
247	2,323	5	2	12,7765	0,2323	3,4845
146	3,22	6	3	17,71	0,322	4,83
223	2,507	8	6	13,7885	0,2507	3,7605
181	3,243	6	2	17,8365	0,3243	4,8645
142	2,76	5	3	15,18	0,276	4,14
440	2,231	6	2	12,2705	0,2231	3,3465
296	2,76	5	3	15,18	0,276	4,14
163	4,876	4	2	26,818	0,4876	7,314
492	5,543	4	1	30,4865	0,5543	8,3145
65	3,818	7	5	20,999	0,3818	5,727
139	2,507	6	4	13,7885	0,2507	3,7605

4.2.2. Primeros cálculos

En primer lugar, se van a calcular datos estadísticos básicos como el promedio y la desviación estándar del histórico de ventas para cada uno de los productos. Para evitar incurrir en posibles errores que se arrastren durante toda la solución debido a

datos atípicos, exageradamente grandes en la demanda de algún producto. Se contará únicamente con el percentil P_{95} , es decir, el valor bajo el cual se encuentran el 95 % de las observaciones.

El motivo de prescindir de estos datos es porque habitualmente, cuando suceden este tipo de ventas en un día es debido a promociones especiales o acuerdos previamente pactados con el comprador. Por lo que no sería correcto tenerlos en cuenta a la hora de calcular parámetros que sirvan para controlar el inventario de forma regular a lo largo del año y terminaría generando más stock del necesario.

No se eliminan los datos por completo, sino que lo que se está haciendo es sustituirlos por el promedio de la demanda del P_{95} , de modo que en caso de que un producto no presente este tipo de demanda excesivamente superior a la media en determinados días, se verá mínimamente afectado por el cambio, mientras que para el resto de productos que sí tengan valores atípicos se suavizará la gráfica del histórico de su demanda.

En los siguientes gráficos se representan todos los valores de la demanda de cada producto, antes y después de sustituir los valores que excedían el percentil 95.

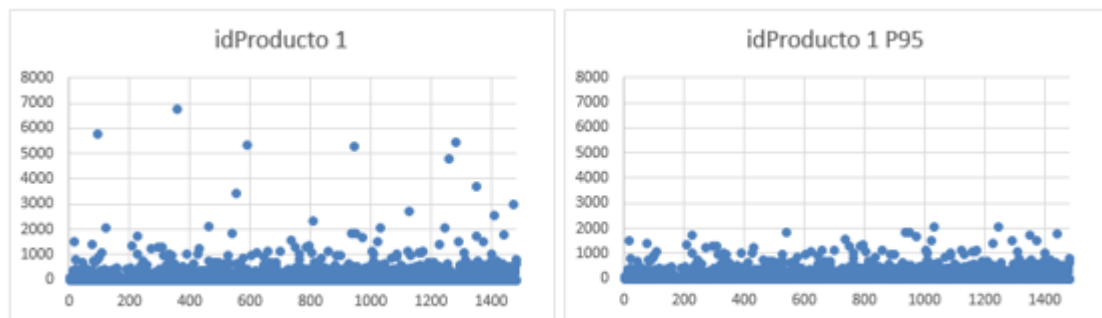


Ilustración 8 Demanda percentil 95 idProducto 1

Para el caso del producto 1, de los 1469 valores se han modificado 14 de ellos, resultando ser el nuevo promedio de 189 unidades, frente a un promedio de 224 en la primera imagen. Es decir, un cambio en tan solo un 0,95 % de los valores ha significado una variación en el promedio de casi un 15 %.

Como se puede ver en las imágenes se han eliminado datos extremos que no reflejan la realidad del producto y por lo tanto no conviene tenerlos en cuenta a la hora de calcular parámetros de control.

Desarrollo

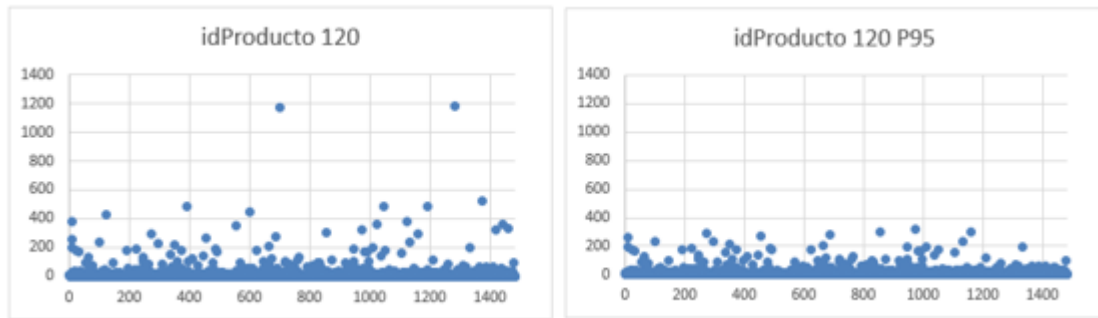


Ilustración 9 Demanda percentil 95 idProducto 120

El caso del producto 120 es muy similar, el promedio se encontraba en 20 unidades y tras modificar los 15 datos más extremos es de 16 unidades.

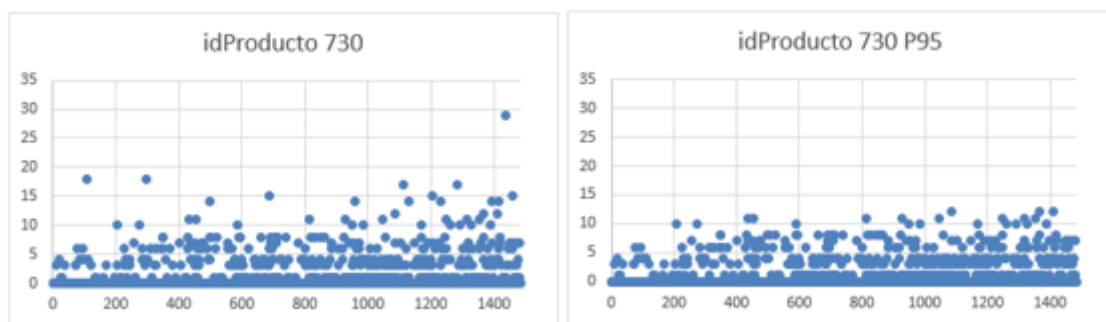


Ilustración 10 Demanda percentil 95 idProducto 730

Como último ejemplo, por ver un caso que no tiene datos atípicos tan superiores a la media, el producto 730 tenía un promedio de 1,2 en un principio y de 1,1 después del cambio.

Una vez realizada esta "limpieza" se pueden calcular los promedios y desviaciones de cada artículo junto con su demanda total y el número de pedidos totales. Se guardarán dentro de la memoria del programa en "Tabla1"

Tabla 5 "Tabla1"

idProducto	Demanda_Total	N pedidos	Demanda Promedio	Desv Demanda
1	281498.0	959.0	293.532847	302.735201
2	325642.0	994.0	327.607646	295.491505
3	277045.0	983.0	281.836216	226.651788
4	287671.0	960.0	299.657292	287.528203
5	234674.0	965.0	243.185492	200.228204
6	189016.0	977.0	193.465711	234.949334
7	149108.0	992.0	150.310484	339.172826
8	213922.0	996.0	214.781124	169.909246
9	169212.0	995.0	170.062312	193.838168
10	161020.0	966.0	166.687371	155.389931
11	171109.0	978.0	174.958078	145.552388
12	152764.0	958.0	159.461378	151.308283
13	119652.0	966.0	123.863354	118.714906
14	126152.0	960.0	131.408333	176.260164
15	144873.0	912.0	158.851974	159.851856

A continuación, se mezcla esta "Tabla1" con el maestro de productos ("df2") y, por lo tanto, al disponer del valor unitario de cada producto y su cantidad total de ventas se puede calcular el valor total que aporta a la organización tanto en valor absoluto ('Valor') como en tanto por ciento ('Valor_%'). Nos referiremos a ella como "Tabla2"

Tabla 6 "Tabla2"

idProducto	Demanda_Total	N_pedidos	Demanda_Promedio	Desv_Demanda	Precio	Lt	dLt	Ce	Cm	Cs	Valor	Valor_%
156	20237	792	25,55	29,86	155,25 €	48	10	854 €	16 €	233 €	3.141.794 €	8,64%
280	9782	908	10,77	9,13	319,57 €	11	5	1.758 €	32 €	479 €	3.125.994 €	8,60%
237	10037	783	12,82	22,32	270,99 €	31	9	1.490 €	27 €	406 €	2.719.886 €	7,48%
169	22453	922	24,35	25,95	84,76 €	87	27	466 €	8 €	127 €	1.903.004 €	5,23%
105	26197	959	27,32	28,37	42,38 €	29	12	233 €	4 €	64 €	1.110.224 €	3,05%
1	281498	959	293,53	302,74	3,73 €	5	2	20 €	0 €	6 €	1.048.862 €	2,88%
619	2343	600	3,91	3,35	442,71 €	13	6	2.435 €	44 €	664 €	1.037.266 €	2,85%
235	13105	842	15,56	18,02	71,53 €	52	8	393 €	7 €	107 €	937.401 €	2,58%
241	11816	626	18,88	22,24	73,60 €	39	17	405 €	7 €	110 €	869.658 €	2,39%
90	29349	969	30,29	27,83	27,98 €	29	10	154 €	3 €	42 €	821.265 €	2,26%
713	1756	439	4,00	3,28	365,47 €	10	3	2.010 €	37 €	548 €	641.767 €	1,77%
730	1614	419	3,85	2,69	379,50 €	42	14	2.087 €	38 €	569 €	612.513 €	1,68%
159	23342	929	25,13	26,50	25,48 €	27	8	140 €	3 €	38 €	594.848 €	1,64%
508	1930	228	8,46	10,29	284,21 €	40	15	1.563 €	28 €	426 €	548.527 €	1,51%

4.2.3. Principio de Pareto

El principio de Pareto dice que aproximadamente el 80 % de las consecuencias de un fenómeno es causado únicamente por el 20 % de las causas que lo producen.

Ha sido y es aplicado con éxito en numerosos campos de la economía e industria, siendo la gestión de inventarios un perfecto ejemplo de su utilidad. Según esta regla, el 80 % del valor del almacén debería estar concentrado en aproximadamente un 20 % de los productos, mientras que el 20 % restante del valor se reparte entre el otro 80 % de productos.

La relación 80-20 no es una cifra exacta, puede variar, pero es muy buena aproximación para la gran mayoría de casos.

Una vez conocido el valor de cada producto es sencillo realizar un diagrama de Pareto para ver cómo se distribuye realmente el valor total entre los artículos y poder ordenarlos mediante una clasificación ABC. Esta categorización lleva a la realidad el principio de Pareto, de modo que aquellos productos que sean vitales para la empresa serán designados con una "A", los que no tengan tanta importancia con una "B" y con una "C" el resto de productos, que apenas aportan valor a la empresa.

Desarrollo

Para el ejemplo que estamos analizando se ha decidido fijar como límite del rango A un 80 % del valor, y el límite del rango B en un 95 %

Tabla 7 Tabla Pareto

1	idProducto	Demanda_Total	Precio	Valor	Valor_%	Valor_acum	Valor_%_acum	Tipo	%Ref
2	156	20237	155,25 €	3.141.794 €	8,64%	3.141.794 €	8,64%	A	0,20%
3	280	9782	319,57 €	3.125.994 €	8,60%	6.267.788 €	17,24%	A	0,40%
4	237	10037	270,99 €	2.719.886 €	7,48%	8.987.674 €	24,72%	A	0,60%
54	548	3027	49,40 €	149.546 €	0,41%	28.898.039 €	79,48%	A	10,60%
55	621	2431	59,34 €	144.256 €	0,40%	29.042.294 €	79,87%	A	10,80%
56	243	9147	15,32 €	140.114 €	0,39%	29.182.408 €	80,26%	B	11,00%
57	77	37492	3,71 €	139.005 €	0,38%	29.321.413 €	80,64%	B	11,20%
58	174	18954	6,76 €	128.167 €	0,35%	29.449.580 €	80,99%	B	11,40%
144	546	2417	10,44 €	25.238 €	0,07%	34.476.417 €	94,82%	B	28,60%
145	110	26233	0,96 €	25.220 €	0,07%	34.501.638 €	94,89%	B	28,80%
146	221	13865	1,79 €	24.874 €	0,07%	34.526.512 €	94,96%	C	29,00%
147	265	10720	2,26 €	24.237 €	0,07%	34.550.748 €	95,02%	C	29,20%
148	363	5600	4,21 €	23.570 €	0,06%	34.574.319 €	95,09%	C	29,40%
149	228	13136	1,74 €	22.874 €	0,06%	34.597.193 €	95,15%	C	29,60%
150	480	3672	5,98 €	21.959 €	0,06%	34.619.152 €	95,21%	C	29,80%
497	594	3152	0,01 €	33 €	0,00%	36.360.349 €	100,00%	C	99,20%
498	396	2300	0,01 €	30 €	0,00%	36.360.378 €	100,00%	C	99,40%
499	505	192	0,14 €	26 €	0,00%	36.360.405 €	100,00%	C	99,60%
500	689	1497	0,01 €	13 €	0,00%	36.360.418 €	100,00%	C	99,80%
501	653	0		- €	0,00%	36.360.418 €	100,00%	C	100,00%

Como podemos ver en la imagen, en este caso un 10,8 % de las referencias sumarían el 80 % del valor del almacén y serían clasificadas como productos "A". El 18,2 % siguiente de los artículos elevaría el valor hasta un 95 %. Y, por lo tanto, el 71 % restante de las referencias solamente supone un 5 % del valor total.

Aunque no se puedan apreciar los números en el gráfico, se distingue claramente como los productos clasificados como "B" y "C" aumentan el valor del inventario de manera mucho más suave que los productos "A". (El gráfico está incompleto, sólo representa los 250 productos con más valor, es decir, faltan otros 250 artículos en el grupo "C")

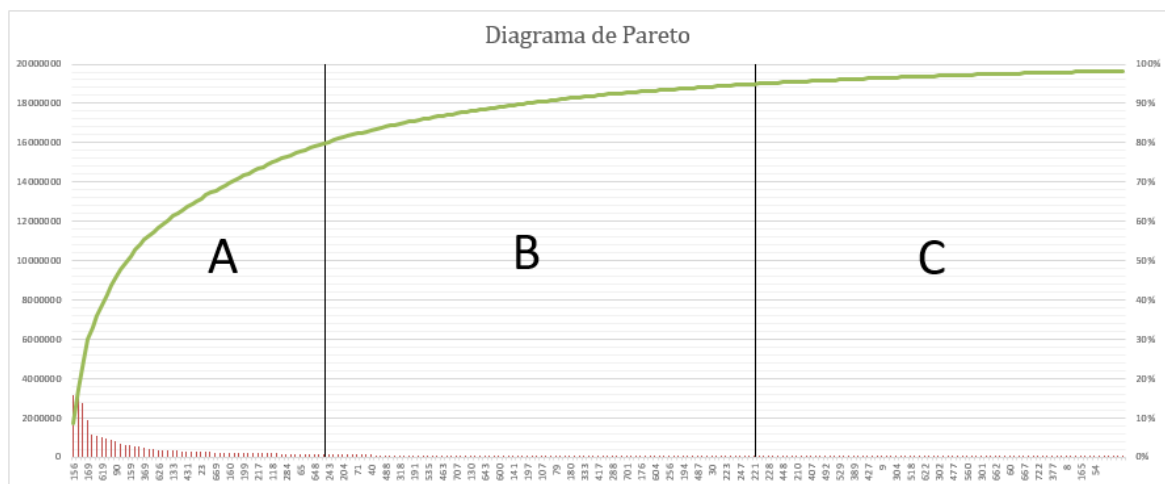


Ilustración 11 Diagrama de Pareto

Esta clasificación ABC se emplea en el programa para fijar un nivel de servicio del 99 % a los productos "A", un 90 % a los productos "B" y un 80 % a los productos "C". La decisión de que porcentajes utilizar le corresponde a cada empresa y no tiene por qué realizarse siguiendo este método, pero es un buen punto de partida para analizar datos de forma genérica y de manera rápida.

4.2.4. *Cálculo de las políticas*

Una vez llegados a este punto ya se dispone de todos los datos necesarios para calcular los diferentes parámetros de las 4 políticas explicadas anteriormente.

- Modelo EOQ (Apartado 4.1.2)
- Modelo Stock Objetivo (Apartado 4.1.3)
- Modelo Stock Objetivo con pp1 (Apartado 4.1.4)
- Modelo Stock Objetivo con pp2 (Apartado 4.1.5)

Las fórmulas empleadas ya estaban explicadas en sus respectivos apartados, por lo que simplemente se adjunta una imagen de cómo queda la tabla tras añadir los parámetros calculados.

Desarrollo

Tabla 8 "Tabla2" (Parámetros)

1	idProducto	Demanda Total	N pedidos	Demanda Promedio	Desv Demanda	Precio	lt	dlt	Ce	Cm	Cs	Valor	Valor %	Rank ABC	N Servicio	Phi
2	156	20237	792	25,55	29,86	155,25	48	10	853,9	15,5	232,9	3141794	8,64	A	99	2,33
3	280	9782	908	10,77	9,13	319,57	11	5	1757,6	32,0	479,3	3125994	8,60	A	99	2,33
4	237	10037	783	12,82	22,32	270,99	31	9	1490,4	27,1	406,5	2719886	7,48	A	99	2,33
5	169	22453	922	24,35	25,95	84,76	87	27	466,2	8,5	127,1	1903004	5,23	A	99	2,33
6	105	26197	959	27,32	28,37	42,38	29	12	233,1	4,2	63,6	1110224	3,05	A	99	2,33
57	77	37492	988	37,95	38,50	3,71	14	5	20,4	0,4	5,6	139005,3	0,38	B	90	1,28
58	174	18954	878	21,59	21,29	6,76	3	1	37,2	0,7	10,1	128166,9	0,35	B	90	1,28
59	204	969	73	13,27	10,55	128,80	47	20	708,4	12,9	193,2	124807,2	0,34	B	90	1,28
60	262	10790	921	11,72	9,83	11,52	52	7	63,4	1,2	17,3	124333,2	0,34	B	90	1,28
61	703	2298	432	5,32	6,86	52,21	52	4	287,2	5,2	78,3	119978,6	0,33	B	90	1,28
148	363	5600	429	13,05	11,15	4,21	5	2	23,1	0,4	6,3	23570,4	0,06	C	80	0,84
149	228	13136	846	15,53	16,01	1,74	28	17	9,6	0,2	2,6	22874,11	0,06	C	80	0,84
150	480	3672	544	6,75	6,76	5,98	18	8	32,9	0,6	9,0	21958,56	0,06	C	80	0,84
151	671	2344	439	5,34	6,86	9,34	85	37	51,4	0,9	14,0	21888,27	0,06	C	80	0,84
152	448	4510	507	8,90	11,51	4,83	14	2	26,6	0,5	7,2	21783,3	0,06	C	80	0,84

1	idProducto	EOQ	Pp	Tp	Stock de Ciclo	Stock de Ciclo 2	Stock de Seguridad	StockObjetivo	StockObjetivo 2
2	156	1492	1232	50	1337	655	757	2094	1412
3	280	1037	177	62	482	73	197	679	270
4	237	1051	532	71	690	210	543	1233	753
5	169	1572	2422	41	1938	1317	1171	3109	2488
6	105	1698	1120	36	1148	512	725	1873	1237
57	77	2031	600	29	1087	354	362	1449	716
58	174	1444	88	46	626	38	192	818	230
59	204	326	125	2460	1638	31	677	2315	708
60	262	1089	490	59	808	378	148	956	526
61	703	503	144	271	501	81	158	659	239
148	363	785	41	174	676	19	126	802	145
149	228	1202	393	58	762	248	178	940	426
150	480	636	74	170	465	45	80	545	125
151	671	508	207	264	552	134	119	671	253
152	448	704	79	164	541	43	129	670	172

4.2.5. Simulación – Demanda y Lead time

Es la parte más importante del programa, el objetivo de las simulaciones es recrear cómo se comportaría cada una de las políticas en los diferentes artículos frente a una hipotética situación de demanda a lo largo de un año con las mismas características que las obtenidas al analizar el histórico.

Es decir, una situación que trata de ser lo más fiel a lo que ocurriría en la realidad en caso de estar trabajando con estas políticas.

En primer lugar, se itera artículo por artículo preparando la demanda y el lead time de cada día.

La demanda se genera en días aleatorios bajo una probabilidad que viene dada por el número de días con pedidos en el histórico dividido entre el número total de días analizados. Y el valor de esta, seguirá una distribución exponencial con media 'Demanda_Promedio' de la "Tabla2".

Es fundamental que los datos generados mantengan la misma estructura que los del histórico de la demanda, esto significará que la simulación es pareja a la realidad y por lo tanto válida para su uso.

En los siguientes histogramas, podemos ver 2 ejemplos en los que se compara la demanda real con la simulada.

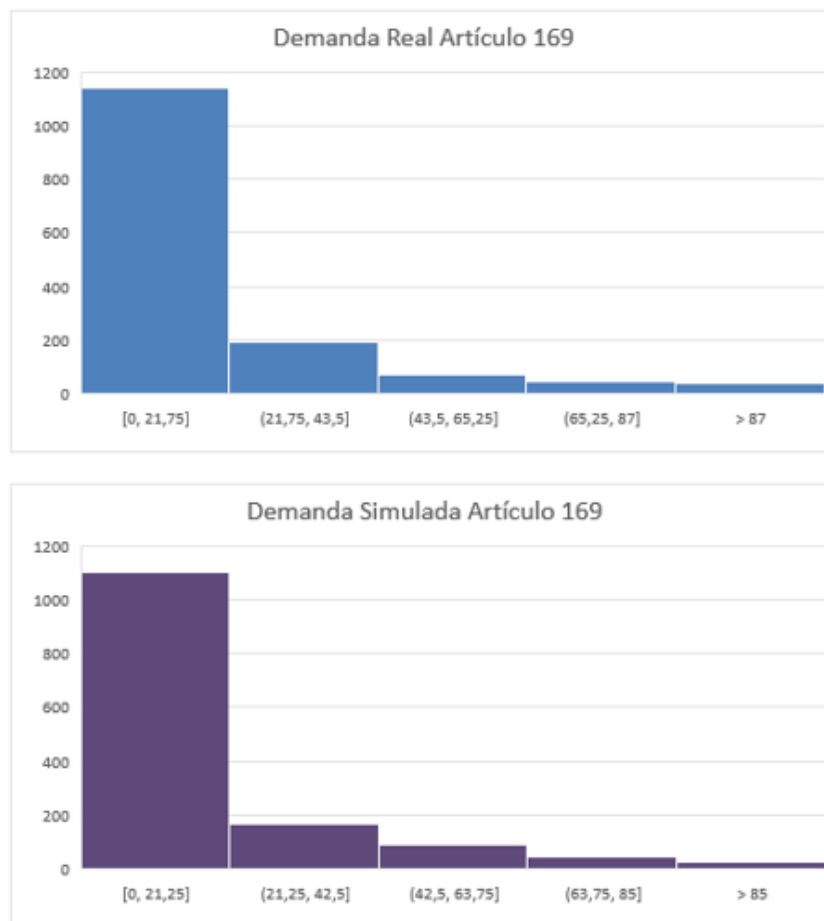


Ilustración 12 Demanda Real vs Simulada Artículo 169

Como se puede apreciar, tanto el número de datos generados como los rangos de valores entre los que se encuentran son prácticamente idénticos

Desarrollo

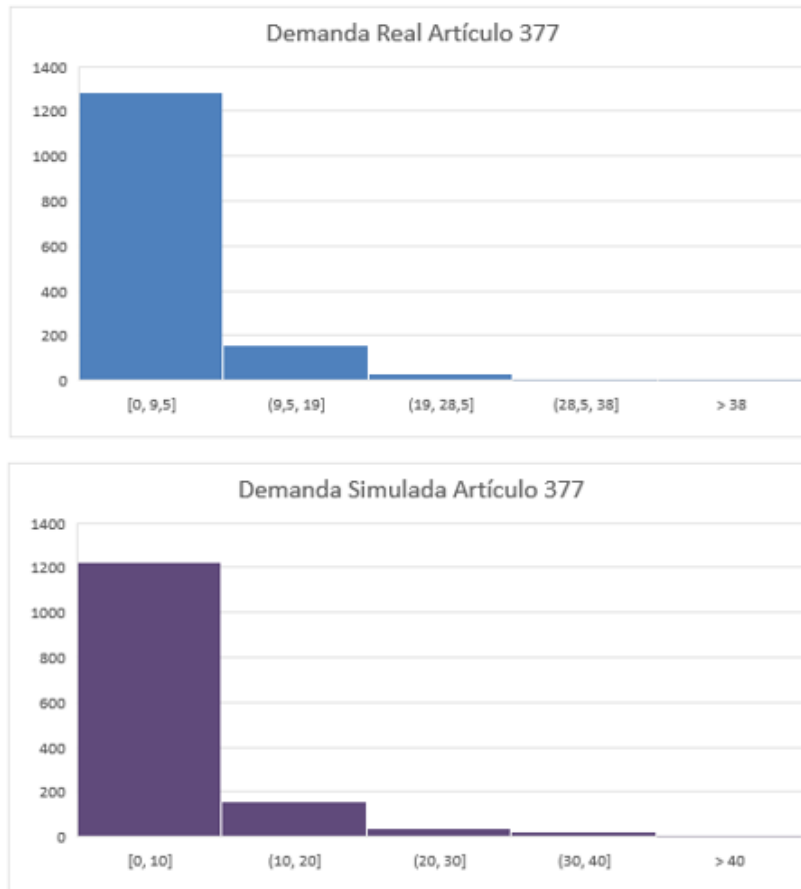


Ilustración 13 Demanda Real vs Simulada Artículo 377

En cuanto al lead time, se genera un valor para cada día siguiendo una distribución normal de media 'Lt' y desviación estándar 'dLt' de la "Tabla2".

Estos valores se recogen en "TablaDemandas" y "TablaLt"

Tabla 9 "TablaDemandas"

	156	280	237	169	105	1	619	235	241	90	...	444	569	218	657	721	282	594	396	505	689
0	11	24	0	0	71	156	0	0	1	18	...	0	6	7	0	4	16	0	8	0	0
1	0	0	36	57	0	800	0	0	2	47	...	2	0	6	0	0	1	7	0	0	0
2	0	0	34	51	19	0	0	0	7	0	...	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
3	3	2	28	26	10	0	3	8	0	0	...	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	61	0	0	14	39	...	0	6	0	5	0	12	4	0	0	0
5	48	2	0	6	48	83	0	0	32	39	...	0	0	16	10	0	21	1	0	0	0
6	8	10	5	8	103	0	5	0	12	0	...	0	1	5	0	3	3	8	0	0	0
7	42	0	8	0	16	190	0	15	0	38	...	2	4	6	0	0	4	0	10	0	0
8	30	0	2	4	0	0	14	5	0	0	...	0	0	8	0	0	8	0	0	0	0
9	32	2	0	0	88	479	1	74	0	7	...	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0
10	69	22	0	12	20	0	0	38	0	20	...	0	0	7	6	4	3	0	0	0	0

Tabla 10 "TablaLt"

	156	280	237	169	105	1	619	235	241	90	...	444	569	218	657	721	282	594	396	505	689
0	66	8	16	113	22	6	12	47	42	44	...	5	5	5	37	2	7	1	9	10	10
1	45	18	27	98	15	7	15	52	33	33	...	5	6	5	15	2	7	1	17	11	10
2	61	2	26	115	40	6	11	51	78	38	...	5	7	5	67	3	7	1	14	6	9
3	50	10	31	52	43	5	9	55	32	33	...	2	9	5	9	1	7	1	10	4	9
4	50	11	34	136	42	5	12	41	64	43	...	4	3	5	59	3	7	1	11	7	11
5	54	16	23	68	32	5	10	59	30	31	...	4	6	5	51	4	7	1	8	5	10
6	28	8	39	101	15	6	11	46	33	32	...	3	8	5	28	3	7	1	11	9	10
7	49	8	51	117	37	5	6	48	50	22	...	4	7	5	36	1	7	1	17	8	9
8	50	15	19	56	22	3	10	42	48	17	...	4	7	5	48	1	7	1	12	8	11
9	34	17	23	111	52	6	12	55	35	16	...	5	6	5	53	2	7	1	11	11	8
10	52	1	33	87	29	7	5	58	56	34	...	4	6	5	25	3	7	1	12	9	11

Estas 2 tablas son factores externos independientes del funcionamiento de la empresa. A continuación, se simulará cómo se comporta cada una de las políticas de inventarios frente a estos datos.

4.2.6. Simulación – Políticas inventarios

Se han programado las 4 políticas explicadas para ver su respuesta ante la situación de demanda generada en el apartado anterior.

El funcionamiento es el siguiente, en primer lugar, se selecciona un artículo el cual entrará en un bucle de 360 repeticiones (días). Y en cada uno de estos días se realizan las siguientes operaciones.

- Gestión de la demanda
- Recepción de pedidos
- Emisión de pedidos

Cuando terminan los 360 días, se selecciona el siguiente artículo y comienza de nuevo el bucle.

El programa funciona mediante variables que van cambiando sus valores según las circunstancias.

Gestión de la demanda

Cuando comienza un nuevo día, entra desde "TablaDemandas" el valor de la demanda generado anteriormente para ese artículo y día. Y se resta a las variables *Stock_disponible* y *Stock_virtual* que son las encargadas de registrar el nivel del inventario.

Este punto junto a la Recepción de pedidos, son comunes a todas las políticas.

Emisión de pedidos

Al final de cada día se comprueba si es necesario realizar una orden de reabastecimiento. Esto dependerá de si se cumple o no, la condición requerida para emitir un pedido.

Tanto las condiciones como la cantidad solicitada en cada política se indican en el siguiente cuadro.

Tabla 11 Condiciones y cantidad de pedido por política

	Condición pedido	Cantidad pedido
Stock Objetivo	T_p	StockObjetivo - Stock Virtual
EOQ	$Stock\ Virtual < P_p$	EOQ
SO con pp1	$Stock\ Virtual < P_p$	StockObjetivo - Stock Virtual
SO con pp2	$Stock\ Virtual < P_{p2}$	StockObjetivo - Stock Virtual

En caso de que se cumpla la condición que está siendo examinada durante la simulación, se lanzará el pedido, al que se le asignará el lead time correspondiente a ese día ("TablaLt") y quedará pendiente de recepción.

El *Stock_virtual* aumentará según la cantidad solicitada

Recepción de pedidos

Todos los días se comprueba si hay alguna orden de reabastecimiento entrante, en caso de ser así, se aumenta el *Stock_disponible* con dicha cantidad.

4.2.7. Optimización de costes

Durante las simulaciones se han ido registrando y guardando los datos que ahora nos ayudarán a tomar decisiones respecto a las políticas. Principalmente, desde el punto de vista de los costes asociados a cada una de ellas.

El stock disponible al final de cada día se encuentra en "TablaStock_X" (_1 para la primera política simulada, Stock Objetivo. _2 para la segunda, EOQ..., _3 para Stock Obj pp1 y _4 para Stock Obj pp2)

Tabla 12 "TablaStock_1"

	156	280	237	169	105	1	619	235	241	90	...	444	569	218	657	721	282	594	396	505	689
0	2094	678	1215	3104	1873	5989	439	1441	1565	1878	...	731	393	579	1187	1029	513	517	1517	2749	1931
1	2081	678	1215	3104	1859	5808	439	1430	1565	1878	...	731	392	579	1187	1029	513	517	1517	2749	1931
2	2081	678	1214	3104	1840	5808	439	1430	1565	1875	...	710	392	574	1187	1029	513	511	1517	2749	1931
3	2081	656	1213	3101	1798	5808	439	1428	1565	1857	...	710	384	574	1185	1029	513	511	1476	2749	1931
4	2044	656	1210	3097	1798	5641	439	1425	1565	1818	...	710	384	548	1185	1029	492	511	1476	2749	1931
5	1961	655	1210	3097	1793	5641	439	1422	1561	1818	...	710	384	548	1185	1029	492	511	1476	2749	1931
6	1961	655	1210	3049	1774	5641	429	1419	1561	1746	...	710	384	532	1185	1029	490	511	1476	2749	1931
7	1915	655	1210	3034	1774	5641	429	1419	1561	1677	...	710	382	532	1185	1029	487	511	1476	2749	1931
8	1905	649	1188	3034	1755	5466	425	1419	1561	1677	...	710	380	532	1185	1012	478	491	1476	2749	1931
9	1865	648	1188	3034	1743	5386	424	1389	1561	1677	...	710	380	532	1185	1012	471	491	1476	2749	1920
10	1865	637	1188	3034	1694	5254	423	1386	1561	1652	...	691	374	517	1185	1012	469	491	1476	2749	1920

Multiplicando estas cantidades por sus respectivos costes de almacenaje obtenemos el coste de mantenimiento total 'Cm_Total'

Desarrollo

Cuando se emite una orden de reabastecimiento, queda registrada la cantidad y el día en "TablaReabast_X".

Tabla 13 "TablaReabast_1"

	156	280	237	169	105	1	619	235	241	90	...	444	569	218	657	721	282	594	396	505	689	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	75	0	0	0	0	0	141	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	189	0	0	0	118	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0

De modo que tenemos el número total de pedidos realizados, por lo que, multiplicando por los costes de emisión, obtenemos el coste de emisión total 'Ce_Total'

Por último, cuando no se puede satisfacer la demanda, queda registrado como rotura de stock en "TablaRoturas_X".

Tabla 14 "TablaRoturas_1"

	156	280	237	169	105	1	619	235	241	90	...	444	569	218	657	721	282	594	396	505	689	
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	-16	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	-1	-20	0	0	0	0
155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	-4	-13	0	0	0	0	0	0	0	0

Y así poder calcular los costes totales de ruptura multiplicando por el coste de ruptura del artículo 'Cs_Total'.

Una vez tenemos todos los costes, podemos sumarlos para saber cuál sería el coste total relacionado con la gestión de cada producto durante 1 año. Lo visualizamos en "TablaCostes_X".

Tabla 15 "TablaCotes_1"

	Media_stock	Cm	Cm_Total	N_reabast	Ce	Ce_Total	Roturas_stock_u	Cs	Cs_Total	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media
156	738	15.52	11457.45	24	853.88	20493.00	75.0	232.88	17465.62	49416.08	155.25	114574.50
280	154	31.96	4921.32	24	1757.61	42182.70	6.0	479.35	2876.09	49980.11	319.57	49213.15
237	432	27.10	11706.60	12	1490.42	17885.08	-0.0	406.48	-0.00	29591.67	270.99	117065.95
169	1361	8.48	11535.16	56	466.15	26104.54	-0.0	127.13	-0.00	37639.70	84.76	115351.56
105	677	4.24	2869.11	47	233.09	10955.18	-0.0	63.57	-0.00	13824.29	42.38	28691.12
1	2539	0.37	946.03	46	20.49	942.68	-0.0	5.59	-0.00	1888.71	3.73	9460.31
619	77	44.27	3408.85	7	2434.90	17044.27	-0.0	664.06	-0.00	20453.13	442.71	34088.54
235	540	7.15	3862.62	19	393.42	7474.88	-0.0	107.30	-0.00	11337.50	71.53	38626.20
241	588	7.36	4327.68	13	404.80	5262.40	-0.0	110.40	-0.00	9590.08	73.60	43276.80
90	660	2.80	1846.86	49	153.90	7541.34	-0.0	41.97	-0.00	9388.20	27.98	18468.60

Como se ha generado una "TablaCostes_X" para cada política, podemos comparar el coste total de la gestión de cada producto entre los diferentes modelos y así elegir de forma individual para cada artículo la política que tenga un menor coste.

Esta tabla es "TablaCostes_Minimos" y da la solución con menor coste total a lo largo de un año.

Tabla 16 "TablaCostes_Minimos"

	Media_stock	Cm	Cm_Total	N_reabast	Ce	Ce_Total	Roturas_stock_u	Cs	Cs_Total	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media	Política_Ganadora
156	961	15,52	14919,52	7	853,88	5977,12	0	232,88	0	20896,65	155,25	149195,25	Política_1
280	369	31,96	11791,98	5	1757,61	8788,06	0	479,35	0	20580,04	319,57	117919,82	Política_3
237	721	27,10	19538,09	3	1490,42	4471,27	0	406,48	0	24009,36	270,99	195380,91	Política_3
169	1512	8,48	12814,96	8	466,15	3729,22	0	127,13	0	16544,18	84,76	128149,56	Política_3
105	1097	4,24	4649,06	9	233,09	2097,8	0	63,57	0	6746,86	42,38	46490,64	Política_1
1	3655	0,37	1361,85	17	20,49	348,38	0	5,59	0	1710,23	3,73	13618,53	Política_3
619	255	44,27	11289,06	1	2434,9	2434,9	0	664,06	0	13723,96	442,71	112890,63	Política_1
235	769	7,15	5500,66	4	393,42	1573,66	0	107,3	0	7074,32	71,53	55006,57	Política_3
241	944	7,36	6947,84	3	404,8	1214,4	0	110,4	0	8162,24	73,6	69478,4	Política_3
90	967	2,8	2705,93	9	153,9	1385,14	0	41,97	0	4091,07	27,98	27059,29	Política_3
713	271	36,55	9904,26	1	2010,09	2010,09	0	548,21	0	11914,35	365,47	99042,62	Política_2
730	287	37,95	10891,65	1	2087,25	2087,25	0	569,25	0	12978,9	379,5	108916,5	Política_2
159	919	2,55	2341,98	9	140,16	1261,46	0	38,23	0	3603,44	25,48	23419,8	Política_1
508	423	28,42	12022,13	0	1563,16	0	0	426,32	0	12022,13	284,21	120221,25	Política_4
326	764	6,37	4867,44	2	350,4	700,81	0	95,56	0	5568,25	63,71	48674,44	Política_3
369	514	8,28	4255,92	3	455,4	1366,2	0	124,2	0	5622,12	82,8	42559,2	Política_4
374	631	6,28	3962,05	2	345,34	690,69	0	94,18	0	4652,74	62,79	39620,49	Política_3
453	469	9	4220,95	2	494,99	989,99	0	135	0	5210,94	90	42209,53	Política_3
626	369	19,55	7213,95	1	1075,25	1075,25	0	293,25	0	8289,2	195,5	72139,5	Política_2
7	11131	0,23	2534,53	8	12,52	100,19	0	3,42	0	2634,72	2,28	25345,29	Política_2

Este apartado es fundamental, no limitarse a una política para todo el almacén, sino combinarlas para gestionar cada producto con aquella que haya dado mejores resultados.

Desarrollo

En el siguiente cuadro podemos ver el reparto de los costes totales de cada política, y como la combinación de ellas aporta la mejor alternativa.

Tabla 17 Costes por política

	Stock Objetivo	EOQ	Stock Objetivo pp1	Stock Objetivo pp2	Combinación
Coste emision	74.214,00 €	42.088,00 €	58.540,00 €	354.593,00 €	77.999,00 €
Coste mantenimiento	528.261,00 €	356.041,00 €	512.318,00 €	195.927,00 €	271.434,00 €
Coste rupturas	38.557,00 €	11.000,00 €	26.092,00 €	122.876,00 €	3.337,00 €
Coste total	641.032,00 €	409.129,00 €	596.950,00 €	673.396,00 €	352.770,00 €
Inv Stock media	5.282.613,00 €	3.560.416,00 €	5.123.185,00 €	1.959.277,00 €	2.741.039,00 €

En dicha combinación, el número de artículos gestionados con cada política es el siguiente

Tabla 18 Artículos por política

Política	Artículos
Stock Objetivo	67
EOQ	171
Stock Obj pp1	221
Stock Obj pp2	40

Proceder de esta forma aporta otra gran ventaja y es que permite probar políticas más "extremas", ya que en el peor de los casos quedarían descartadas en las comparaciones y ningún producto sería gestionado con ellas. Es decir, no hay nada que perder, pero se pueden encontrar artículos en los que por sus peculiares características de demanda o lead time, sí que se ajusten de manera correcta dando el menor coste.

4.2.8. Reducción de inversión

Anteriormente, hemos encontrado la solución que conlleva el menor coste estimado de gestión. Pero también existen otras variables interesantes a considerar, una de ellas es la inversión media existente en stock.

Partiendo de "TablaCostes_Minimos", puede que haya productos que gestionados mediante alguna de las otras 3 políticas descartadas en un principio por tener un coste total mayor. Supongan un incremento en el coste de gestión razonable, a cambio de reducir drásticamente la inversión media en stock.

Para ello se compara 'Suma_Coste_Total' e 'Inversion_stock_media' de cada una de las tablas "TablaCostes_X" con esos mismos campos en "TablaCostes_Minimos" y se anotan las diferencias en las nuevas columnas 'Sobrecoste' y 'Ahorro_en_inversion' respectivamente. Con la división de estos 2 nuevos valores obtenemos 'Ratio_Ahorro_en_inversion_Sobrecoste' que nos indica cuantos euros se reduce la inversión por cada euro de más en coste de gestión (en caso de que se decidiese utilizar la política que se esté comparando en lugar de la que se había asignado al producto en "TablaCostes_Minimos").

Tabla 19 "TablaCostes_1" (Asociada a Política_1; Stock Objetivo)

	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media	Sobrecoste	Ahorro_en_inversion	Ratio_Ahorro_en_inversion_Sobrecoste
156	20896,65	155,25	149195,25	0	0	0
280	21762,44	319,57	129743,76	1182,4	-11823,94	-9,999949256
237	28480,63	270,99	210285,14	4471,27	-14904,23	-3,333332588
169	48979,91	84,76	114334,5	32435,73	13815,06	0,425921044
105	6746,86	42,38	46490,64	0	0	0
1	2228,89	3,73	15731,17	518,66	-2112,64	-4,073265723
619	13723,96	442,71	112890,63	0	0	0
235	7703,78	71,53	53432,91	629,46	1573,66	2,500015887
241	9737,28	73,6	81180,8	1575,04	-11702,4	-7,429906542
90	4284,15	27,98	27451,05	193,08	-391,76	-2,029003522

En este caso se ha comparado "TablaCoses_1" con "TablaCostes_Minimos" (se encuentra en el apartado anterior). En el artículo 156 el ratio es 0, ya que la política de Stock Objetivo resultó ser la de menor coste para ese artículo. Para el artículo 280 un ratio negativo nos indica que si cambiamos de la Política_3 a la Política_1 estaríamos aumentando el gasto de gestión y también la inversión media requerida. Por último, para el artículo 235, un ratio de 2,5 significa que con la Política_1, por cada euro que aumenta el coste de gestión, se reducen 2,5 euros en inversión de stock media respecto a la Política_3.

Desarrollo

Una vez se ha realizado esta comparación con las 4 tablas de costes y se ha anotado para cada artículo su ratio, se compara por artículo el ratio de cada una de las políticas. Para poder así seleccionar el mayor y añadirlo a "TablaCostes_Mínimos" junto a qué política corresponde.

Tabla 20 "TablaCostes_Minimos" Ratios

	Cs_Total	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media	Política_Ganadora	Ratio_Ahorro_en_inversion_Mayor	Política_Ratio_Mayor
156	0	20896,65	155,25	149195,25	Politica_1	3,51	Politica_4
280	0	20580,04	319,57	117919,82	Politica_3	2,64	Politica_4
237	0	24009,36	270,99	195380,91	Politica_3	21,21	Politica_4
169	0	16544,18	84,76	128149,56	Politica_3	0,98	Politica_4
105	0	6746,86	42,38	46490,64	Politica_1	2,82	Politica_4
1	0	1710,23	3,73	13618,53	Politica_3	2,86	Politica_4
619	0	13723,96	442,71	112890,63	Politica_1	12,00	Politica_4
235	0	7074,32	71,53	55006,57	Politica_3	2,97	Politica_4
241	0	8162,24	73,6	69478,4	Politica_3	36,70	Politica_4
90	0	4091,07	27,98	27059,29	Politica_3	1,59	Politica_4
713	0	11914,35	365,47	99042,62	Politica_2	78,00	Politica_4
730	0	12978,9	379,5	108916,5	Politica_2	21,98	Politica_4
159	0	3603,44	25,48	23419,8	Politica_1	2,93	Politica_4
508	0	12022,13	284,21	120221,25	Politica_4	0,00	Actual
326	0	5568,25	63,71	48674,44	Politica_3	38,06	Politica_4
369	0	5622,12	82,8	42559,2	Politica_4	0,00	Actual
374	0	4652,74	62,79	39620,49	Politica_3	87,06	Politica_4
453	0	5210,94	90	42209,53	Politica_3	4,80	Politica_4
626	0	8289,2	195,5	72139,5	Politica_2	0,00	Actual
7	0	2634,72	2,28	25345,29	Politica_2	28,06	Politica_4

A continuación, se ordena esta tabla en base a los productos con mayor ratio para saber cuáles son los artículos más convenientes de cambiar de política en caso de que se quiera asumir un mayor coste a cambio de una menor inversión.

Tabla 21 "TablaCostes_Minimos" Ratios descendientes

	Cs_Total	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media	Política_Ganadora	Ratio_Ahorro_en_inversion_Mayor	Política_Ratio_Mayor
661	0	21,88	0,8	218,84	Politica_2	719,50	Politica_4
125	0	41,38	0,29	366,02	Politica_2	375,43	Politica_3
519	0	7,49	0,18	65,06	Politica_2	274,50	Politica_3
243	0	988,01	15,32	8195,13	Politica_3	264,97	Politica_4
553	0	82,43	3,03	824,29	Politica_2	263,30	Politica_4
678	0	1841,89	34,11	16542,87	Politica_3	243,86	Politica_4
643	0	895,9	24,89	7590,23	Politica_3	147,14	Politica_4
575	0	491,23	12,01	4251,75	Politica_2	134,74	Politica_4
461	0	545,49	8,51	4986,86	Politica_1	127,49	Politica_4
357	0	2,87	0,05	25,91	Politica_2	104,76	Politica_4
374	0	4652,74	62,79	39620,49	Politica_3	87,06	Politica_4
713	0	11914,35	365,47	99042,62	Politica_2	78,00	Politica_4
171	0	7,48	0,07	63,41	Politica_2	69,71	Politica_3
550	0	88,13	2,74	881,31	Politica_2	69,19	Politica_4
717	0	58,28	1,89	582,77	Politica_3	68,58	Politica_2
535	0	1418,99	31,05	12482,1	Politica_2	68,57	Politica_4
351	0	243,76	4,85	1371,45	Politica_1	64,95	Politica_3
76	0	76,75	0,55	647,58	Politica_2	59,89	Politica_3
674	0	66,79	1,84	566,72	Politica_2	57,88	Politica_4
59	0	6,79	0,04	56,21	Politica_2	55,67	Politica_3

Tabla 22 Costes Artículo 661 Política_2 vs Política_4

	.Tmedia s	Cm	Cm To	N_reab	Ce	Ce Tot	uras st	Cs	Cs Tot	Suma Coste Total	Preci	Inversion stock media
661	275	0,08	21,88	0	4,38	0	0	1,19	0	21,88	0,8	218,84

	.Tmedia s	Cm	Cm To	N_reab	Ce	Ce Tot	uras st	Cs	Cs Tot	Suma Coste Total	Preci	Inversion stock media
661	58	0,08	4,62	4	4,38	17,51	0	1,19	0	22,12	0,8	46,16

Tabla 23 Costes Artículo 374 Política_3 vs Política_4

	.Tmedia s	Cm	Cm To	N_reab	Ce	Ce Tot	uras st	Cs	Cs Tot	Suma Coste Total	Preci	Inversion stock media
374	631	6,28	3962,05	2	345,34	690,69	0	94,18	0	4652,74	62,79	39620,49

	.Tmedia s	Cm	Cm To	N_reab	Ce	Ce Tot	uras st	Cs	Cs Tot	Suma Coste Total	Preci	Inversion stock media
374	335	6,28	2103,46	8	345,34	2762,76	0	94,18	0	4866,23	62,79	21034,65

Al principio encontremos ratios muy elevados, en el artículo 661, el menor coste posible (Política_2) sería 21,88 € con una inversión de 218,84 €; mientras que la Política_4 con un coste de 22,12 € permite una inversión de 46,16 €.

Como otro ejemplo tenemos el artículo 374, con la Política_3 tendría un coste de 4.652 € con una inversión media en stock de 39.620 €; mientras que con la Política_4 el coste aumenta a 4.866 € pero la inversión se reduce a 21.034 €.

El ratio no indica cómo de grande es posible la reducción de inversión, simplemente la rentabilidad de ella. Muy probablemente convenga aceptar estos primeros cambios de políticas debido a su alta rentabilidad. Poco a poco se va a ir suavizando el beneficio que generan y aumentando el perjuicio. Pero es totalmente decisión de la empresa si aceptar (y hasta qué punto) o no, el aumentar los costes a lo largo del año para reducir la inversión media.

Desarrollo

En "TablaComparacion_Coste_Inversion" se encuentran ordenados por ratio (descendente) los valores que tomaría el coste y la inversión según el número de artículos modificados.

Tabla 24 "TablaComparacion_Costes_Inversion" Inicio

	Coste	Inversion
0	352.771 €	2.741.039 €
1	352.771 €	2.740.867 €
2	352.771 €	2.740.701 €
3	352.771 €	2.740.674 €
4	352.787 €	2.736.615 €
5	352.787 €	2.736.454 €
6	352.832 €	2.725.642 €
7	352.866 €	2.720.515 €
8	352.889 €	2.717.440 €
9	352.913 €	2.714.402 €
10	352.913 €	2.714.384 €

En la siguiente gráfica se representa la "TablaComparacion_Coste_Inversion"

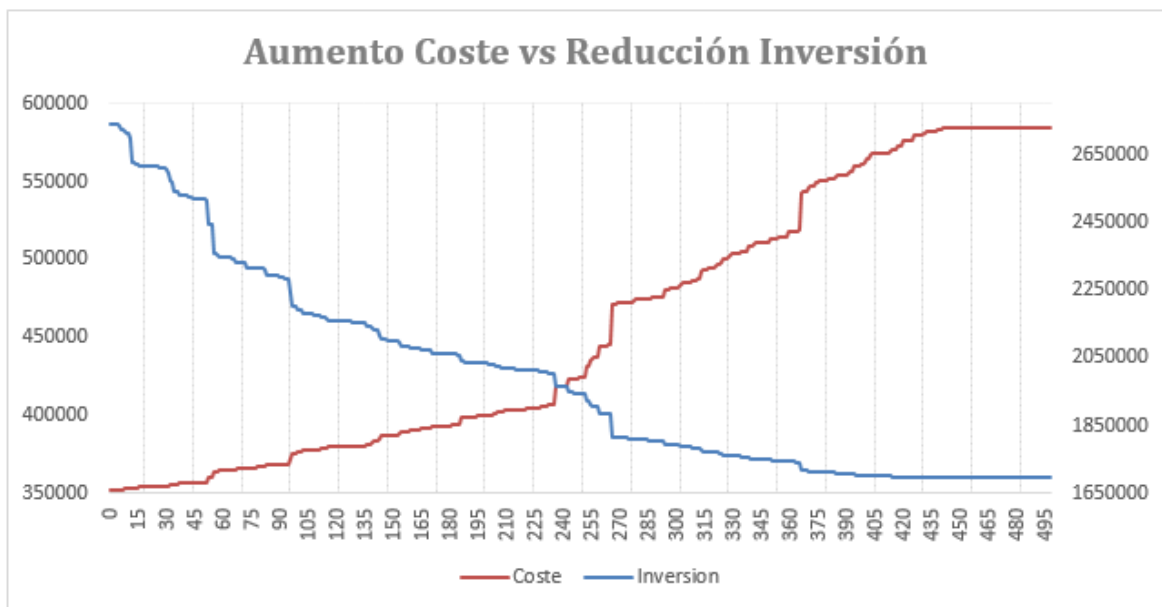


Ilustración 14 Aumento de coste vs Reducción de inversión

El coste (rojo) se representa en el eje vertical izquierdo, mientras que la inversión (azul) toma los valores del eje vertical derecho. En el eje horizontal se indican el número de artículos modificados con los que se logran esos valores.

De modo que actualmente nos encontraríamos en 0 artículos modificados, lo que tiene el menor coste posible, 352.771 € con una inversión de 2.741.039 €. Si por ejemplo la empresa tomase la decisión de modificar 100 artículos sus costes serían de 376.942 € y la inversión de 2.192.516 €.

Aquí los valores cada 50 artículos modificados.

Tabla 25 "TablaComparacion_Costes_Inversion" Resumen

	Coste	Inversion
0	352.771 €	2.741.039 €
50	356.942 €	2.516.678 €
100	376.748 €	2.192.516 €
150	387.709 €	2.099.361 €
200	400.127 €	2.032.446 €
250	424.088 €	1.947.076 €
300	481.828 €	1.795.094 €
350	512.972 €	1.749.424 €
400	562.218 €	1.704.963 €
450	584.373 €	1.695.858 €
498	584.373 €	1.695.858 €

Por lo que finalmente, podríamos ver en "TablaReduccion_Inversion" qué política se asigna a cada producto después de haber tomado una decisión sobre cuántos productos realizar esta modificación.

Tabla 26 "TablaReduccion_Inversion" para 100 artículos

	Media_stock	Cm	Cm_Total	N_reabast	Ce	Ce_Total	uras_stock	Cs	Cs_Total	Suma_Coste_Total	Precio	Inversion_stock_media	Política_Ganadora
156	961	15,52	14919,52	7	853,88	5977,12	0	232,88	0	20.897 €	155,25	149.195 €	Politica_1
280	369	31,96	11791,98	5	1757,61	8788,06	0	479,35	0	20.580 €	319,57	117.920 €	Politica_3
237	422	27,1	11435,61	11	1490,42	16394,65	0	406,48	0	27.830 €	270,99	114.356 €	Politica_4
169	1512	8,48	12814,96	8	466,15	3729,22	0	127,13	0	16.544 €	84,76	128.150 €	Politica_3
105	1097	4,24	4649,06	9	233,09	2097,8	0	63,57	0	6.747 €	42,38	46.491 €	Politica_1
1	3655	0,37	1361,85	17	20,49	348,38	0	5,59	0	1.710 €	3,73	13.619 €	Politica_3
619	75	44,27	3320,31	7	2434,9	17044,27	0	664,06	0	20.365 €	442,71	33.203 €	Politica_4
235	769	7,15	5500,66	4	393,42	1573,66	0	107,3	0	7.074 €	71,53	55.007 €	Politica_3
241	555	7,36	4084,8	12	404,8	4857,6	0	110,4	0	8.942 €	73,6	40.848 €	Politica_4
90	967	2,8	2705,93	9	153,9	1385,14	0	41,97	0	4.091 €	27,98	27.059 €	Politica_3
713	76	36,55	2777,58	5	2010,09	10050,45	0	548,21	0	12.828 €	365,47	27.776 €	Politica_4
730	98	37,95	3719,1	6	2087,25	12523,5	0	569,25	0	16.243 €	379,5	37.191 €	Politica_4
159	919	2,55	2341,98	9	140,16	1261,46	0	38,23	0	3.603 €	25,48	23.420 €	Politica_1
508	423	28,42	12022,13	0	1563,16	0	0	426,32	0	12.022 €	284,21	120.221 €	Politica_4
326	372	6,37	2370,01	11	350,4	3854,46	0	95,56	0	6.224 €	63,71	23.700 €	Politica_4
369	514	8,28	4255,92	3	455,4	1366,2	0	124,2	0	5.622 €	82,8	42.559 €	Politica_4
374	335	6,28	2103,46	8	345,34	2762,76	0	94,18	0	4.866 €	62,79	21.035 €	Politica_4
453	469	9	4220,95	2	494,99	989,99	0	135	0	5.211 €	90	42.210 €	Politica_3
626	369	19,55	7213,95	1	1075,25	1075,25	0	293,25	0	8.289 €	195,5	72.140 €	Politica_2
7	9428	0,23	2146,76	50	12,52	626,18	0	3,42	0	2.773 €	2,28	21.468 €	Politica_4

4.3. VERSATILIDAD DEL PROGRAMA

Se trata de un programa fácil de usar, que requiere únicamente como datos de entrada un histórico de demanda y un maestro de artículos.

Es idóneo para su aplicación en cualquier tipo de empresa que maneje ciertos volúmenes de inventario. La preparación del fichero Excel del cual toma los datos no debería suponer ningún esfuerzo, ya que la forma en la que estos son leídos por el programa es bastante estandarizada a todas las compañías. Su ejecución se completa en apenas 10 minutos y la solución que aporta es completa, pudiendo proporcionar una reducción de costes significativa.

Uno de los principales objetivos del proyecto era realizar un programa dinámico, capaz de actualizarse con la entrada de nuevos datos como así es el caso.

El usuario únicamente tiene que actualizar el fichero Excel con los nuevos valores de la demanda que serán tenidos en cuenta por el programa. De este modo, se consigue adaptar los parámetros de control en base a estos nuevos valores.

Aparte se pueden acotar las fechas proporcionadas en el histórico en caso de que se quiera contar únicamente con los datos de los últimos meses, si se busca una solución para un periodo en concreto o si los datos de ventas antiguas tienen escasa semejanza con la demanda actual del producto.

En caso de realizar esta acción de forma rutinaria se conseguirían parámetros de control más ajustados y por lo tanto una solución más precisa que reduciría en mayor medida los costes.

5. CONCLUSIONES

Para el ejemplo analizado, las políticas "EOQ" y "Stock Obj pp1" han dado los mejores resultados al ser las que mayor cantidad de artículos controlan (171 y 221 respectivamente) sobre un total de 500. Aunque las políticas "Stock Objetivo" y "Stock Obj pp2" también han logrado el resultado con menor coste en un significativo número de productos (67 y 40). Por lo que todas las políticas empleadas han resultado útiles en mayor o menor medida según las características de cada producto.

Sin duda alguna, gestionar los productos de manera independiente, combinando las políticas empleadas en el almacén aporta una gran reducción de costes al permitir que cada artículo se ajuste al modelo que controle de manera más efectiva las características de su demanda. Logrando así un coste total de 352.770 euros, frente a los 409.129 euros que se estiman en el mejor de los casos aplicando la misma política a todo el almacén.

Por último, ofrece la alternativa de costes más económica para rangos de inversión entre los 2,7 y 1,7 millones de euros.

En líneas generales, se ha creado satisfactoriamente una herramienta capaz de analizar datos de entrada disponibles en cualquier empresa y a partir de ahí llegar a una solución que minimiza el coste total de la gestión del inventario.

También considera otras variables de vital importancia como el capital invertido en stock, ofreciendo alternativas que reducen esta cantidad.

Todos los cálculos se han realizado en base a conceptos teóricos sobre inventarios y fórmulas matemáticas. Los resultados finales se obtienen tras el análisis de una simulación idéntica a una situación real de demanda, lo que valida el funcionamiento del programa.

El manejo del programa no presenta ninguna dificultad, su uso únicamente requiere de 1 hoja Excel de la cual tomará los datos y otra hoja en la que volcar los resultados que se soliciten.

Conclusiones

En un futuro, en cuanto al proyecto, la ampliación más interesante consistiría en la programación de más modelos de inventario. Como se ha explicado en el trabajo, añadir una nueva política puede generar grandes beneficios y no supone ningún inconveniente en caso de que esta no genere buenos resultados ya que quedaría descartada en el resultado final.

Otro aspecto interesante a añadir sería considerar algún tipo de límite para el almacén, ya bien sea en cuanto a la inversión, espacio utilizado o algún otro tipo de variable. Esta nueva variable, introduciría el concepto de "menor pérdida", que se buscaría una vez llegados a este límite y por lo general supondría reducir los niveles de stock por debajo de la solución óptima alcanzada en un principio.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ballou, R. H. (2004). "Administración de la cadena de suministro".

Hillier, Lieberman (1967). "Investigación Operativa".

Edward A. Silver, David F. Pyke, Douglas J. Thomas (2015). "Inventory and production management in supply chains"



Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria	45	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos	11	páginas

La Almunia, a 28 del 11 de 2018

Firmado: Adrián Calleja Visiedo



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
425.18.94

Director:

Fdo:
Luis Mariano
Esteban Escaño

Título TFG:

**Herramientas dinámicas para determinación de
política de inventario óptima bajo distintas
distribuciones de demanda**

Autor:

Adrián Calleja Visiedo

28/11/2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
425.18.94

Director:

Fdo:
Luis Mariano
Esteban Escaño

Título TFG:

**Herramientas dinámicas para determinación de
política de inventario óptima bajo distintas
distribuciones de demanda**

Autor:

Adrián Calleja Visiedo

28/11/2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

Herramientas dinámicas para determinación
de política de inventario óptima bajo distintas
distribuciones de demanda

Dynamic tools for deciding on the best
inventory policy under different demand
distributions

425.18.94

Autor: Adrián Calleja Visiedo
Director: Luis Mariano Esteban Escaño
Fecha: 28/11/2018

