



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Obtención de un modelo para la gestión de stocks multiproducto considerando la variable espacio de almacenamiento encaminado a la adopción de decisiones estratégicas operacionales.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Pelayo García Fernández

DIRECTORES: Francisco Javier Rodríguez Rodríguez

Débora Cores Carrera

CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Obtención de un modelo para la gestión de stocks multiproducto considerando la variable espacio de almacenamiento encaminado a la adopción de decisiones estratégicas operacionales.

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado busca adaptar un modelo de gestión de stock sobradamente probado, como es el modelo de cantidad económica de pedido, a una situación con múltiples productos y limitación en el espacio. Aplicándolo, particularmente, a la Armada. Mediante un problema de optimización no lineal con restricciones, y utilizando MATLAB como herramienta, se busca minimizar la función coste total asociado a la gestión de todos los productos. Además, con el objeto de permitir la máxima personalización, el modelo se apoya en un archivo Excel donde el usuario podrá cargar y gestionar hasta cuarenta productos distintos y caracterizar el problema, diferenciar entre buques e instalaciones con una capacidad de trece compartimentos o lineales respectivamente, además de introducir una navegación con un máximo de diez escalas. Así, el algoritmo es capaz de diferenciar quince situaciones operacionales diferentes, obteniendo mejores resultados con respecto a las formas tradicionales relativas a la gestión de aprovisionamientos, tanto a nivel económico como a niveles de aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento. En definitiva, convierte el tradicional modelo EOQ en un instrumento encaminado a la adopción de decisiones estratégicas organizacionales.

PALABRAS CLAVE

Cantidad económica de pedido, Optimización no lineal, Almacenamiento, Stock de seguridad.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, el Sr. Rodríguez Rodríguez manteniendo el contacto y su trabajo desde el Buque Juan Sebastián de Elcano, y a la Sra. Cores Carrera por su ayuda constante y su tiempo dedicado a la mejora de este Trabajo. Además, agradecer a la gente que trabaja en aprovisionamiento en la Escuela Naval Militar, en especial a D. Pablo, por compartir conmigo los datos y su forma de trabajo.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	8
1 Motivación y objetivos	9
1.1 Motivación	9
1.2 Objetivos	9
1.3 Estructura del trabajo	9
2 Antecedentes. conceptos técnicos necesarios para la comprensión de este trabajo.	11
2.1 Inventario o stock.....	11
2.1.1 Definición y tipos	11
2.1.2 Funciones que realiza, objetivos que permiten los inventarios.	12
2.1.3 La clasificación ABC de inventario.....	13
2.2 La gestión de inventarios.	14
2.2.1 Cuestiones que se han de resolver	15
2.2.2 Costes asociados a los stocks.....	15
2.2.3 Introducción a los principales modelos empleados.	16
2.3 Modelo de Wilson o modelo EOQ.....	17
2.3.1 Supuestos de aplicabilidad.....	20
2.3.2 Datos obtenidos con su aplicación.....	20
2.4 Modelo dos contenedores o Two Bin	23
2.5 Decisiones estratégicas organizacionales.....	23
2.5.1 Estrategias de proceso.....	23
2.5.2 Capacidad de las instalaciones.....	24
2.5.3 Localización de las instalaciones.....	25
2.5.4 Distribución en planta o layout.....	27
2.6 Modelo matemático.....	28
2.6.1 Clasificación de los modelos matemáticos.	29
2.6.2 Programación no lineal.	30
2.6.3 Obtención de un mínimo en programación no lineal.....	35
3 Obtención de un modelo para la gestión de stocks multiproducto considerando la variable espacio de almacenamiento.....	37
3.1 Identificación del problema.....	37
3.1.1 Stock multiproducto.....	37

3.1.2 Limitación de espacio.	37
3.1.3 Coste total mínimo.	38
3.1.4 Herramienta en la toma de decisiones estratégicas.	38
3.2 Especificación matemática y formulación.	38
3.2.1 Función objetivo y variables.	38
3.2.2 Restricciones.	40
3.2.3 Clasificación del modelo matemático.	41
3.3 Resolución.	42
3.3.1 Datos	42
3.3.2 Función func_eoq.	43
3.3.3 Función fmincon	44
3.3.4 Algoritmo Optimizador.	45
3.3.5 Archivo Excel	48
3.4 Problemas encontrados.	49
3.4.1 Imposibilidad de cumplimiento de las restricciones.	49
3.4.2 Redondeo de los resultados.	50
3.4.3 Múltiples puertos, diferentes límites.	52
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
4.1 Funcionamiento del modelo.	55
4.1.1 Funcionamiento del modelo.	55
4.1.2 Análisis de influencia de cada uno de los costes.	55
4.2 Comparativa con el funcionamiento tradicional.	61
4.2.1 No navegación.	62
4.2.2 Navegación	67
5 Conclusiones y líneas futuras	71
5.1 Conclusiones.	71
5.2 Líneas futuras.	72
6 Bibliografía.	73
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	75
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	77
Anexo III: Códigos de matlab	79
Anexo IV: Simulaciones de funcionamiento del algoritmo optimizador	94
Anexo V: Construcción del archivo Excel	125
A5.1 Hoja de cálculo.	125

A5.1.1 Hoja “DATOS A SACAR”	125
A5.1.2 Hoja “DATOS OBTENIDOS”	126
A5.1.3 Hoja “PRESENTACIÓN”	126
A5.1.4 Hoja “DATOS GENERALES”	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diferentes stocks a lo largo del proceso productivo [Autoría propia].....	12
Figura 2-2 Clasificación ABC[2]	14
Figura 2-3. Costes asociados a los stocks. [2]	16
Figura 2-4. Perfil de nivel de inventario a lo largo del tiempo. [2]	18
Figura 2-5. Perfil de inventario a lo largo del tiempo con stock de seguridad. [2]	18
Figura 2-6. Gráfica de costes del Modelo de Wilson [7]	19
Figura 2-7 Funcionamiento del modelo EOQ [8].....	21
Figura 2-8 Distribución normal $N(0,1)$ [2].....	23
Figura 2-9 Diagrama punto muerto de localización [Autoría propia]	26
Figura 2-10 Tipología espacio de solución. Caso I [Autoría propia]	31
Figura 2-11 Tipología espacio de solución. Caso II [Autoría propia].....	32
Figura 2-12 Tipología espacio de solución. Caso III [Autoría propia]	32
Figura 2-13 Tipología espacio de solución. Caso IV [Autoría propia]	33
Figura 2-14 Tipología espacio de solución. Caso V [Autoría propia]	33
Figura 2-15 Tipología espacio de solución. Caso VI [Autoría propia]	34
Figura 2-16 Tipología espacio de solución. Caso VII [Autoría propia]	34
Figura 2-17Tipología espacio de solución. Caso VIII [Autoría propia]	35
Figura 3-1 Espacio de solución tipo para uno de los productos [Autoría propia].....	41
Figura 3-2 Tabla de clasificación de productos (capturada del archivo Excel.)	43
Figura 3-3 Diagrama de flujo función <i>func_eoq</i> [Autoría propia]	44
Figura 3-4 Árbol de decisión de <i>Optimizador</i> [Autoría propia].....	47
Figura 3-5 Tabla dimensiones de compartimento. (Capturada de archivo Excel)	49
Figura 3-6 Tabla dimensiones del lineal. (Capturada de archivo Excel)	49
Figura 3-7 Mensaje de alerta. Volumen unitario mayor que capacidad máxima. (Capturada de archivo Excel)	50
Figura 3-8 Mensaje de alerta. Suma de volúmenes unitarios mayor que capacidad máxima. (Capturada de archivo Excel).....	50
Figura 3-9 Análisis de cómo afecta el redondeo. 2 productos [Autoría propia]	50
Figura 3-10 Análisis de cómo afecta el redondeo. 3 productos [Autoría propia]	51
Figura 3-11 Análisis de cómo afecta el redondeo. 4 productos [Autoría propia]	51
Figura 3-12 Análisis de cómo afecta el redondeo. 5 productos [Autoría propia]	51
Figura 4-1 Gráfica análisis comparativo del corte de adquisición. [Autoría propia]	56
Figura 4-2 Comparativa de preferencias entre diferentes productos [Autoría propia].....	57

Figura 4-3 Cantidad económica de pedido en base a diferentes preferencias [Autoría propia]	57
Figura 4-4 Relación entre el coste de adquisición y la preferencia. [Autoría propia]	58
Figura 4-5 Relación entre el coste de adquisición y el coste de mantenimiento. [Autoría propia] ..	58
Figura 4-6 Punto económico de pedido. Comparativa entre costes de adquisición y emisión. [Autoría propia]	59
Figura 4-7 Costes de mantenimiento. Comparativa entre costes de mantenimiento y costes de emisión. [Autoría propia]	60
Figura 4-8 Costes de emisión. Comparativa entre costes de mantenimiento y costes de emisión. [Autoría propia]	60
Figura 4-9 Líneas de tendencia. Variación del EOQ respecto al coste de mantenimiento y el coste de emisión. [Autoría propia]	61
Figura 4-10 Líneas de tendencia del coste de emisión y del coste de mantenimiento. [Autoría propia]	61
Figura 4-11 Comparativa costes. 1 producto [Autoría propia]	62
Figura 4-12 Comparativa volumen ocupado. 1 producto [Autoría propia]	62
Figura 4-13 Comparativa costes. 5 productos. [Autoría propia]	63
Figura 4-14 Comparativa volumen ocupado. 5 productos [Autoría propia]	63
Figura 4-15 Comparativa costes. 10 productos [Autoría propia]	64
Figura 4-16 Comparativa volumen ocupado. 10 productos [Autoría propia]	64
Figura 4-17 Comparativa costes. 20 productos [Autoría propia]	65
Figura 4-18 Comparativa volumen ocupado. 20 productos [Autoría propia]	65
Figura 4-19 Comparativa costes. 40 productos [Autoría propia]	66
Figura 4-20 Comparativa volumen ocupado. 40 productos [Autoría propia]	66
Figura 4-21 Navegación ejemplo. [Capturada de archivo Excel]	67
Figura 4-22 Comparativa costes. 1 producto (navegación) [Autoría propia]	67
Figura 4-23 Comparativa costes. 5 productos (navegación) [Autoría propia]	68
Figura 4-24 Comparativa costes. 10 productos (navegación) [Autoría propia]	68
Figura 4-25 Comparativa costes. 20 productos (navegación) [Autoría propia]	69
Figura 4-26 Comparativa costes. 40 productos (navegación) [Autoría propia]	69
Figura A4- 0-1 Condiciones iniciales. CASO 1 [Capturado del archivo Excel]	94
Figura A4-0-2 Características del pedido. CASO 1 [Capturado del archivo Excel]	94
Figura A4-0-3 Resultados obtenidos. CASO I [Capturado del archivo Excel]	95
Figura A4 0-4 Condiciones iniciales. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]	96
Figura A4-0-5 Características del pedido. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]	96
Figura A4- 0-6 Resultados obtenidos. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]	97
Figura A4-0-7 Condiciones iniciales. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]	98
Figura A4-0-8 Características del pedido. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]	98

Figura A4-0-9 Resultados obtenidos. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]	99
Figura A4-0-10 Condiciones iniciales. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]	100
Figura A3-0-11 Características del pedido. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]	100
Figura A4-0-12 Resultados obtenidos. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]	101
Figura A4-0-13 Condiciones iniciales. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]	102
Figura A4-0-14 Características del pedido. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]	102
Figura A4-0-15 Resultados obtenidos. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]	103
Figura A4-0-16 Condiciones iniciales. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]	104
Figura A4-0-17 Características del pedido. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]	104
Figura A4-0-18 Resultados obtenidos. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]	105
Figura A4-0-19 Condiciones iniciales. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]	106
Figura A4-0-20 Características del pedido. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]	106
Figura A4-0-21 Resultados obtenidos. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]	107
Figura A4-0-22 Condiciones iniciales. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]	108
Figura A4-0-23 Características del pedido. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]	108
Figura A4-0-24 Resultados obtenidos. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]	109
Figura A4-0-25 Condiciones iniciales. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]	110
Figura A4-0-26 Características del pedido. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]	110
Figura A4-0-27 Resultados obtenidos. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]	111
Figura A4-0-28 Condiciones iniciales. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]	112
Figura A4-0-29 Características del pedido. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]	112
Figura A4-0-30 Resultados obtenidos. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]	113
Figura A4-0-31 Condiciones iniciales. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]	114
Figura A4-0-32 Características del pedido. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]	114
Figura A4-0-33 Resultados obtenidos. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]	115
Figura A4-0-34 Condiciones iniciales. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]	116
Figura A4-0-35 Características del pedido. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]	116
Figura A4-0-36 Resultados obtenidos. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]	117
Figura A4-0-37 Condiciones iniciales. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]	118
Figura A4-0-38 Características del pedido. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]	118
Figura A4-0-39 Resultados obtenidos. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]	120
Figura A4-0-40 Condiciones iniciales. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]	120
Figura A4-0-41 Características del pedido. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]	120
Figura A4-0-42 Resultados obtenidos. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]	121
Figura A4-0-43 Condiciones iniciales. CASO 15 [Capturado del archivo Excel]	122

Figura A4-0-44 Características del pedido. CASO 15 [Capturado del archivo Excel].....	122
Figura A4-0-45 Resultados obtenidos. CASO 15 [Capturado del archivo Excel]	123
Figura A5-1-1 Fórmulas de datos generales. Hoja DATOS A SACAR [Capturado del archivo Excel]	126
Figura A5-1-2 Tabla auxiliar. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel].....	127
Figura A5-1-3 Icono "validación de datos". [Capturado de archivo Excel].....	127
Figura A5-1-4 Ventana emergente de validación de datos. [Capturado de archivo Excel]	127
Figura A5-1-5 Fórmulas tabla resultado almacén en tierra (parte 1). Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]	129
Figura A5-1-6 Fórmulas tabla resultado almacén en tierra (parte 2). Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]	129
Figura A5-1-7 Fórmulas comentarios acerca de las soluciones obtenidas. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]	129
Figura A5-1-8 Fórmula coste total. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel]	129
Figura A5-1-9 Fórmulas número de escalas y duración tránsitos. Hoja PRESENTACIÓN. [Capturado del archivo Excel]	130
Figura A5-1-10 Fórmula número de productos y suma de volúmenes unitarios. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel]	131
Figura A5-1-11 Tabla de preferencias. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]	131
Figura A5-1-12 Tabla de preferencias con fórmulas. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]	131
Figura A5-1-13 Celdas auxiliares. Hoja DATOS GENERALES. [Capturado del archivo Excel]	132
Figura A5-1-14 Tabla navegación. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]	132
Figura A5-1-15 Fórmulas tabla navegación. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]	132
Figura A5-1-16 Fórmulas tablas de almacenamiento. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen de las grandes tendencias en la gestión de stock. [2]	17
Tabla 2-2 Resumen estrategias de proceso [Autoría propia]	24
Tabla 2-3 Resumen distribuciones en planta. [Autoría propia].....	28
Tabla 3-1 Glosario de variables. [Autoría propia].....	40
Tabla 4-1 Análisis comparativo del coste de adquisición. [Autoría propia]	56
Tabla 4-2 Análisis comparativo de la variable preferencias [Autoría propia]	57
Tabla 4-3 Datos y resultados de la comparativa entre costes de emisión y costes de mantenimiento. [Autoría propia].....	59

1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

Tradicionalmente, en la gestión de inventarios se utiliza el Modelo EOQ (Economic Order Quantity). Este se caracteriza por su sencillez, simplicidad y resultados probados frente a otros modelos. Con este método se obtiene la cantidad de suministro que ha de pedirse al proveedor y el tiempo entre pedidos que minimiza el coste asociado a la posesión y gestión de stock. Además, se tiene en cuenta una desviación estándar en el plazo de entrega del proveedor y en el consumo que existe hasta que llega a este, además de la posible necesidad de un stock de seguridad. El punto débil de este modelo es que, no se tiene en cuenta el espacio de almacenamiento y que es válido para un solo producto. La falta de un modelo sólido y versátil, sumado a la complejidad de gestión de grandes bases de datos, produce que las organizaciones no optimicen sus recursos. A parte de lo anterior, la información y la tecnología con las que se trabaja actualmente, hacen necesario un modelo matemático en un soporte informático con una interfaz sencilla y de fácil manejo, donde la personalización y la aplicabilidad son un factor determinante.

1.2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo serán abordar la problemática del modelo EOQ planteando un problema de optimización no lineal con restricciones y realizar una posterior comparativa entre el modelo EOQ tradicional y el modelo matemático obtenido. Para ello, se trabajará en un ámbito multiproducto donde se considerará una limitación de espacio (bien una instalación o bien un buque de la Armada) consiguiendo finalmente un modelo capaz de ayudar en la toma de decisiones estratégicas facilitando la logística, reduciendo costes y optimizando tiempos. El fin último es obtener un archivo EXCEL donde volcar toda la información relativa a los productos, definir la capacidad de almacenamiento de las instalaciones, personalizar de acuerdo con las necesidades de cada organización y obtener los resultados de todas las simulaciones cómo se deseen. Esto, se apoyará sobre diferentes programas de MATLAB, donde el usuario, tendrá la mínima interacción posible.

1.3 Estructura del trabajo

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo, en primer lugar, se explicarán los conceptos claves. Comenzando por definir qué es un inventario y como se clasifican estos. Posteriormente, se analizarán los costes asociados a la gestión de stock y se hará una revisión de los diferentes tipos de gestión de inventario. Además, se explicarán qué son las decisiones estratégicas y cuál es su impacto dentro de una organización. Por último, en el estado del arte se pondrá el foco en los modelos

matemáticos y se repasará brevemente los cálculos que se tendrán que llevar a cabo para obtener el resultado.

En el capítulo de desarrollo, se presentarán los cuatro principales problemas a superar para cumplir con los objetivos del presente trabajo. El siguiente apartado, se basará en la especificación matemática, definiendo la función objetivo, las variables y restricciones que determinan el problema, y la caracterización del modelo matemático. Continuando con este capítulo, se presentan los datos de partida, los códigos de MATLAB utilizados para obtener una solución válida, y la explicación del archivo Excel sobre el que se sustenta todo el modelo. Terminando, se analizan los problemas encontrados y como se solucionan.

Respecto al análisis, en la primera parte y en el cuarto anexo, se prueba el modelo desarrollado probando cómo se comporta en todas las posibles soluciones. Luego el análisis se centra en ver como cada coste afecta al resultado, observando que criterio es más determinante. Por último, se realiza una comparativa entre la forma de trabajo tradicional de trabajo y los resultados obtenidos con el algoritmo realizado. Se compara tanto en el supuesto de una instalación en tierra, como en el supuesto de programar una navegación.

En el último capítulo, se hace un repaso de los resultados obtenidos y de aquellas debilidades observadas a lo largo de todo el proceso. Además, se proponen una serie de líneas de trabajo a seguir con el objetivo de mejorar el modelo desarrollado.

A parte de los capítulos ya descritos, los dos primeros anexos se centran en el impacto ambiental, social y ético que este trabajo puede suponer. El tercer anexo, se recopilan los códigos de MATLAB utilizados. En el cuarto anexo se recogen las capturas del archivo Excel de cada una de las simulaciones realizadas. Para terminar, en el quinto y último anexo se dan las directrices necesarias para que el lector sea capaz de manejar con soltura el archivo Excel e incluso crearlo desde cero partiendo de un libro en blanco.

2 ANTECEDENTES. CONCEPTOS TÉCNICOS NECESARIOS PARA LA COMPRESIÓN DE ESTE TRABAJO.

2.1 Inventario o stock.

2.1.1 Definición y tipos

Los inventarios, también llamados stocks, existencias o almacenamiento, son tan antiguos como el ser humano. Desde el principio de los tiempos, los egipcios y otros pueblos de la antigüedad han recolectado y guardado alimentos, herramientas o materiales para que, en caso de necesidad, disponer de ellos a la mayor brevedad y estar preparados ante la incertidumbre que es inherente a los hombres y a la Tierra. La Real Academia Española (RAE) define inventario en su primera acepción como “Asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión.” [1]

Por tanto, atendiendo al proceso productivo, se definirá stock como la provisión de materiales o artículos acumulados en espera de continuar con el proceso productivo; o bien, satisfacer los pedidos de los consumidores y clientes. Es decir, responder a una demanda actuando como reguladores entre la salida de una fase y la entrada de la siguiente.

Los inventarios se agrupan en tres grandes bloques: inventario de materias primas y componentes, inventario de productos en proceso e inventario de productos terminados. Los inventarios de materias primas (MP) y componentes son aquellos que son facilitados por el proveedor para el comienzo del proceso productivo. Los de productos en proceso (WIP) son aquellos stocks que se encuentran en medido de la producción esperando a ser utilizados en otra fase posterior de fabricación. o montaje. Por último, el inventario de producto terminado (PT) son aquellos productos que salen de la organización y esperan a ser suministrados a los clientes o consumidores.

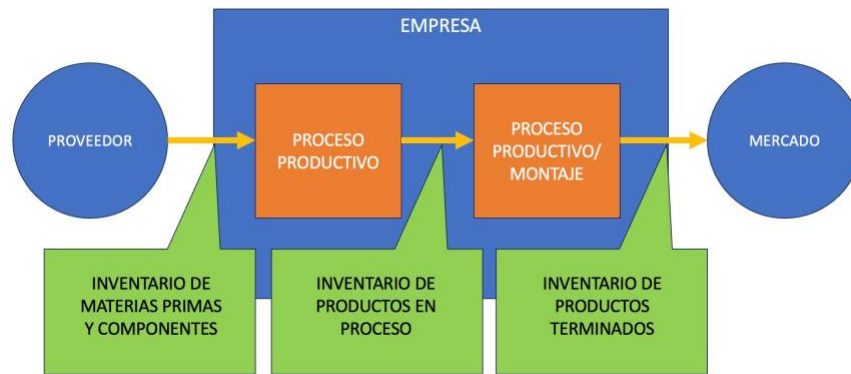


Figura 2-1 Diferentes stocks a lo largo del proceso productivo [Autoría propia]

Dentro de estas tres tipologías de inventarios podemos abordar una distinción en función de la demanda (demanda dependiente o demanda independiente).

Se entiende como demanda independiente aquella que no depende de factores internos a la empresa si no que responde a los movimientos del mercado. Por otro lado, se define como demanda dependiente aquella cuyo principal diferenciador es que existe una relación directa entre ella y la demanda de otros productos. Por tanto, el inventario de productos terminados dependerá de la demanda independiente y el de materias primas y productos en proceso, de la demanda dependiente. [2]

2.1.2 Funciones que realiza, objetivos que permiten los inventarios.

La importancia de un inventario es clave para el buen funcionamiento de la organización adecuando los flujos de diferente frecuencia temporal y cantidad. Los inventarios son muy importantes ya que sirven para garantizar una calidad suficiente de servicio. Además, evita la rotura de stock, es decir, garantiza que el proceso productivo nunca se detenga; permiten una vinculación directa con los proveedores permanentes y optimizan costes y recursos.

En base a lo anterior, por tanto, se pueden definir cuatro objetivos principales de la posesión de inventarios:

- i. Reducción de riesgos: una mayor demanda de la esperada o un problema en la recepción de los proveedores podría poner en jaque el servicio al cliente. Por ello resulta importante poseer un stock de seguridad, tanto de productos terminados como de materias primas y componentes.
- ii. Abaratar las adquisiciones y la producción relativas a la economía de escala. La fabricación por lotes permite no volver a fabricar hasta que este casi acabado, pudiendo poner esfuerzos en otra fase del proceso. Además, la utilización de la misma máquina para distintos productos terminados induce un flujo de trabajo constante, evitando así tiempos perdidos en los que una sección no está aportando valor para la empresa. Por tanto, se necesitarán grandes inventarios de productos en proceso y productos terminados. Por otro lado, adquirir grandes cupos de materias primas reduce el coste total gracias a la obtención de descuentos y reducción de costes de pedido.
- iii. Anticipar las variaciones previstas de la oferta y la demanda: el mercado actual se caracteriza por ser un entorno VUCA (volátil, incierto, complejo y ambiguo); es decir, se encuentra en constante cambio y las previsiones se pueden ver alteradas en cualquier momento. Por ello, un inventario apropiado puede ser el elemento diferenciador entre una gran organización o una mala.
- iv. Facilitar el transporte y la distribución del producto: generalmente el transporte no está preparado para ser un flujo continuo, por lo cual se necesitará realizar lotes de productos

para su posterior transporte. En los inventarios de productos terminados la distribución ha de cumplir con los plazos de entrega como el primer objetivo del servicio al cliente.

Como se puede inferir de las funciones y objetivos detallados previamente, existen diversos factores que influyen en el control del inventario.

En primer lugar, un buen proveedor, fiable y constante. La empresa necesita un proveedor que garantice calidad de materias primas y componentes, y que las aporte en tiempo y forma. De esta manera, la recepción de MP de una forma constante, entiéndase constante como que el tiempo de entrega y las cantidades siempre sean las mismas, resulta decisivo.

En segundo lugar, se necesitan instalaciones adecuadas. Usar gran inventario requiere de un gran espacio adaptado al mantenimiento de los productos. Esto implica una planificación previa por parte de la empresa y un coste añadido, ya que los locales de almacenamiento ocupan espacio y no aportan valor al ciclo.

Por último, una buena logística y personal formado. La distribución en planta influye en los inventarios de productos en proceso y en la magnitud de los lotes a fabricar. Además, se necesita personal formado que analice la demanda de una forma acertada y que mantenga una correcta revisión del inventario.

Por el contrario, todas las funciones que tiene el inventario pueden ocultar ineficiencias, la principal es que, de acuerdo con la metodología Lean, el stock no aporta valor y, por tanto, genera un coste de almacenamiento constante. Además, un flujo de trabajo constante puede producir cuellos de botella en el proceso. Así, en el momento que baje el nivel de inventario por debajo de lo esperado empiezan a surgir ineficiencias. Es por todo lo anterior, que existirán ocasiones que interese tener grandes inventarios y otros momentos en lo que lo óptimo será mantener bajos niveles de inventario. [3]

Se mantendrán grandes inventarios cuando:

- El coste de pedido sea elevado.
- El coste de almacenamiento sea bajo.
- Se obtienen descuentos cuanto mayor sea el lote pedido a los proveedores.
- Se espera un crecimiento de la demanda.
- Se esperen grandes subidas de precios.

En cambio, se mantendrán bajos niveles de inventario cuando:

- Los costes de almacenamiento son elevados y los de pedido son relativamente bajos comparativamente.
- El mercado es estable y no se esperan grandes fluctuaciones en la demanda.
- Los proveedores son de confianza y no existen problemas de reaprovisionamiento. Hay que destacar en este punto la proximidad geográfica del proveedor como factor a tener en cuenta. Un proveedor próximo tendrá que superar menos intermediaciones para conseguir llevar el componente o materia prima a la empresa garantizando, en mayor grado, su entrega y reduciendo el plazo de esta.
- Existen dificultades financieras, y abordar la compra de un gran lote no es posible.
- Se esperan disminuciones importantes de precios.

2.1.3 La clasificación ABC de inventario.

Como se ha explicado anteriormente, un inventario no es un simple recuento de existencias si no que existen muchos factores que condicionan el buen funcionamiento de este. Por ello no todos los materiales o componentes tienen el mismo coste o su disponibilidad es clave para la continuidad del proceso productivo. Vilfredo Pareto enunció el principio de Pareto o 80/20 que, basándose en el reparto de la riqueza en el mundo, descubrió que el 20% de la población controlaba el 80% de la riqueza y

recursos. Esto es aplicable a la mayoría de las situaciones a las que se enfrenta el ser humano. Centrando el tiro en el stock, se observa como unas pocas unidades representan un gran porcentaje del valor del inventario total destinado a la fabricación de un producto.

Con esta idea, surge la clasificación ABC en la que se dividen las existencias. Esta idea viene recogida en la obra *Gestión Económica de stocks* de Albert Rambaux. De esta manera, las A serán las existencias (materias primas y componentes) más escasas y las más valiosas y las C serán las más abundantes pero las menos costosas. Por tanto: [4]

- Existencias A. Bajo nivel de stock. Representan el 80% del valor total del producto, pero sólo entre el 15% y el 20% del inventario total. La fiabilidad de stock es relativamente baja, ya que al existir pocas unidades puede ser probable que no haya disponibilidad en un momento determinado. Es por ello por lo que su control debe ser muy preciso, realizando un seguimiento continuo. Además, la previsión de la demanda y el plazo de entrega deben de ser exactos ya que representa mucho valor del producto terminado.
- Existencias B. Nivel de stock medio alto. Supone el 15% del valor total y aproximadamente el 30% del total de artículos. La fiabilidad de stock es elevada, aproximadamente un 80%.
- Existencias C. Nivel de stock alto. A pesar de corresponder al 60% del total de existencias solo supone un 5% del valor total. La fiabilidad de stock es alta, cerca del 90%; es decir, es muy difícil una rotura de stock en estos productos, que tienen mínimos gastos administrativos. El punto crítico de este tipo de existencias es la obsolescencia. Como siempre va a haber existencias y se irá rellenando de una forma casi constante un contenedor, pero es posible que los productos que más tiempo llevan almacenados tengan ese problema. [4]

A continuación, se refleja una gráfica en la que se compara el porcentaje de importancia frente al porcentaje de artículos totales.

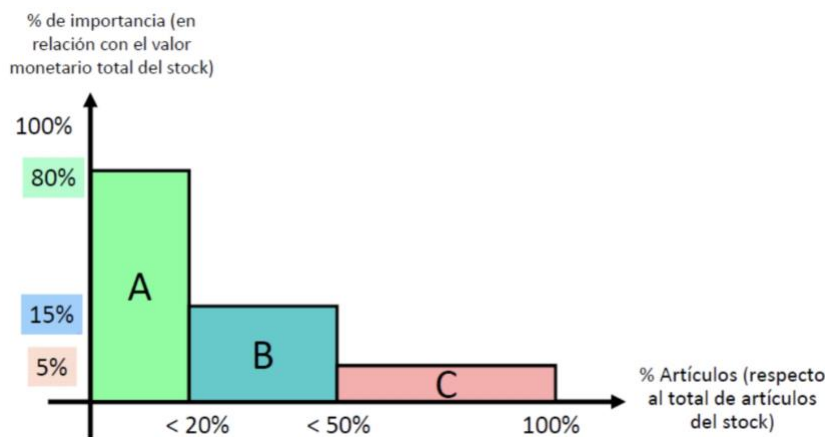


Figura 2-2 Clasificación ABC[2]

La clasificación no es clara, pero el objetivo es separar lo que realmente es valioso de lo que no. Existen ocasiones en las que un artículo es crítico para un sistema y se clasifica como A o B, a pesar de que su valor monetario corresponda más a un artículo C.

2.2 La gestión de inventarios.

La gestión de inventarios es clave para el buen funcionamiento de la empresa ya que está presente en todas las fases del proceso, ocupándose de la planificación, organización y control de las existencias-stocks. Dentro de la gestión de inventarios resulta necesario implantar un modelo de control que permita

realizar un seguimiento de las existencias que además de establecer un punto de revisión y un punto de pedido determinado, así como un control de las piezas. Es importante entender que dentro de una organización se pueden implantar diferentes modelos de gestión de inventario en base a diversos factores como pueden ser la naturaleza de la demanda y el tipo de producto inventariado. [5]

2.2.1 Cuestiones que se han de resolver

Los sistemas de control tienen que hacer frente a dos problemas principalmente: mantener un control sobre todos los productos del inventario y asegurar la fiabilidad de stock, es decir, mantener unos registros adecuados de cada una de las existencias.

Por tanto, las principales funciones del control de inventarios son:

- a) Mantener un registro actualizado de las existencias. El tiempo que transcurre entre una revisión de stock y otra, periodicidad, varía en función del tipo de producto, además de la filosofía misma de cada empresa. Existen dos seguimientos principales.
 - Revisión periódica o inventarios cíclicos. Se revisa cada cierto tiempo el stock. De esta manera no se conocerá si existen existencias o no sin la ayuda de un soporte. Actualmente, la mayoría de las empresas que realizan este seguimiento se apoyan en una herramienta para hacerlo, las tres principales son: ordenadores, códigos de barras y transmisión de información de ordenador a ordenador (EDI). En esta revisión está prohibido introducir o retirar stock sin notificarlo al control.
 - Revisión continua. En todo momento se conoce la cantidad existente de stock. Hay que señalar que en este tipo también se recomienda cada determinado tiempo realizar un recuento físico.
- b) Informar sobre el nivel de existencias para saber cuándo se debe hacer un pedido y cuanto se debe de pedir de cada uno los productos. Existen dos corrientes principales: *modelo de pedido constante (Q)* o *modelo de período constante (P)*.
- c) Notificar situaciones fuera de lo común que pueden constituir síntomas de errores o de un mal funcionamiento del sistema.
- d) Elaborar informes para la dirección y para los responsables de los inventarios.

En base a todo lo anterior, se puede indicar que la gestión de inventarios trata de responder a las siguientes tres preguntas.

- i. ¿Con qué frecuencia debe determinarse el estado del stock de un artículo?
- ii. ¿Cuándo debe lanzarse una orden de pedido de ese artículo?
- iii. ¿Qué cantidad debe pedirse?

2.2.2 Costes asociados a los stocks

Como se ha explicado anteriormente, el coste es un factor determinante en la gestión de stocks y será la principal causa para obtener el modelo de gestión. Los costes de inventario se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Costes de almacenamiento, posesión o mantenimiento de inventarios. Se trata de aquellos costes asociados a los costes de alquiler o amortización de los locales, el coste de inmovilización o de oportunidad del dinero invertido, seguros, costes de obsolescencia, suministros, etc. Es decir, es lo que se gasta mientras el inventario se encuentra físicamente en la empresa. Este coste tiene una relación directa con la cantidad almacenada, en otras palabras, aumenta con el tamaño del stock.
- b) Costes de reaprovisionamiento, renovación del stock o realización de pedidos. Estos costes son los asociados con la emisión del pedido al proveedor. Dentro de estos, existen costes constantes que son independientes al tamaño de pedido. Algunos ejemplos de estos son: costes de administración de la orden de compra y expedición, transporte y recepción,

seguros, etc. Al ser estos costes constantes, cuántos menos pedidos se realicen menos veces se tendrá que acometer ese gasto. Por tanto, el coste anual por emisión se reduce cuanto más grandes sean los lotes.

- c) Coste de adquisición. El coste de comprar el producto. Se trata de un coste resultado de multiplicar el coste unitario por las cantidades necesarias de una demanda conocida. Se comporta de manera constante. [6]

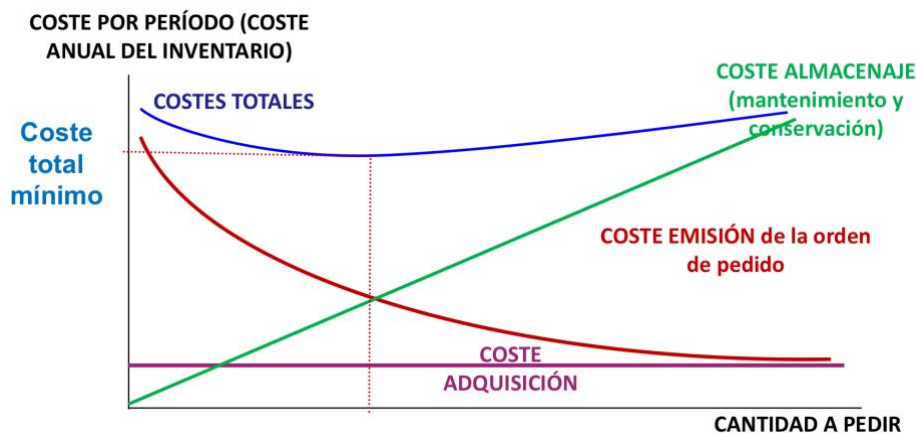


Figura 2-3. Costes asociados a los stocks. [2]

Además de estos tres costes, existe un cuarto coste. Coste de ruptura de stocks, que se produce cuando la empresa no es capaz de mantener el proceso de producción y se detiene (rotura de stock de materias primas o de productos en proceso), o no es capaz de satisfacer la demanda en el tiempo acordado con el cliente (rotura de stock de productos terminados). La no disponibilidad de existencias afecta a la imagen de la empresa, pero también supone un impacto económico, ya sea porque el cliente cancele la compra o las futuras adquisiciones o porque la empresa está parada teniendo costes fijos de inactividad. [2]

2.2.3 Introducción a los principales modelos empleados.

Como se introduce en el punto 2.2.1, en función de la tipología de stock, se construyen dos modelos con características diferenciadas:

- El *modelo de volumen de pedido constante* (sistema Q) o *volumen económico de pedido*. En este caso, el tamaño del pedido es siempre el mismo y se realiza el pedido cuando el nivel de stock desciende a una cantidad determinada. Es el modelo matemático más sencillo para la gestión de inventarios.
- El *modelo de período constante* (sistema P) o *sistema periódico* o *sistema de período fijo*. En este el tiempo entre pedidos permanece constante y varía el tamaño de lote en función del nivel de stock existente en ese momento de revisión. Es, por tanto, un sistema de revisión periódica. [3]

Si se realiza una comparativa entre estos dos sistemas se observa que la principal diferencia es la revisión del stock, siendo la del modelo Q una revisión continua. Respecto a la fiabilidad de stock, el sistema P es más propenso, ya que para un mismo riesgo de rotura de stock se parte de muchas más existencias.

Por tanto, el modelo P es óptimo para aquellos productos de bajo valor ya y donde pueden existir, por tanto, inventarios grandes. Por el contrario, el modelo Q se utilizará para aquellos productos caros para los cuales se siguiese un elevado nivel de control.

Estas consideraciones se resumen en la siguiente tabla:

SISTEMA DE INFORMACIÓN	¿Cuándo pedir?	¿Cuánto pedir?
CONTINUO (Sistema de volumen económico de pedido)	Cuando el nivel de stock baje del punto de pedido PP MODELO EOQ	Una cantidad fija (constante) Q_{EOQ}
PERIÓDICO	Al revisar (cada periodo de tiempo constante R): MODELO R,S	Una cantidad dependiente de la existente en el momento de la emisión. $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$

Tabla 2-1 Resumen de las grandes tendencias en la gestión de stock. [2]

2.3 Modelo de Wilson o modelo EOQ.

El principal modelo determinista del sistema de volumen económico de pedido, enunciado en la tabla anterior, es el modelo de Wilson. Aunque es un modelo muy antiguo (creado en 1915 por F.W.Harris) sentó las bases para el modelo EOQ, que se desarrollará en los siguientes capítulos del presente trabajo.

El modelo se basa en 7 supuestos o puntos de partida:

- Demanda constante, uniforme y conocida. El consumo de existencias es constante en el tiempo.
- Plazo de entrega constante. El tiempo que transcurre entre la orden de emisión de pedido al proveedor y la llegada del pedido a la empresa es siempre el mismo.
- Precio unitario constante e independiente. Al ser independiente de la cantidad de pedido y permanecer constante en el tiempo no se tendrá en cuenta en el modelo. En esta suposición se incluye también la no existencia de descuentos por tamaño de pedido.
- Coste de mantenimiento dependiente del inventario medio de almacén.
- Pedidos constantes y coste de pedido constante. Los lotes pedidos serán siempre del mismo tamaño y su precio tampoco variará.
- No se permiten rupturas de stocks. Es decir, se ha de satisfacer toda la demanda.
- Producto individual independiente de otros.

Asumiendo que estos supuestos se cumplen, se puede definir la evolución temporal del inventario. La gráfica obtenida es la siguiente:

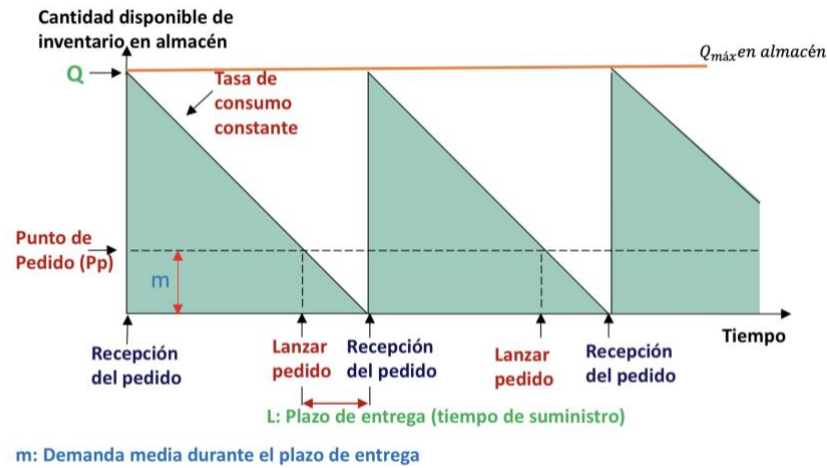


Figura 2-4. Perfil de nivel de inventario a lo largo del tiempo. [2]

Como se puede observar se sigue una tendencia de *dientes de sierra* donde las existencias se encuentran dentro de un valor máximo Q , que en este caso será la cantidad económica de pedido y las existencias máximas del almacén. El consumo es constante de acuerdo con la suposición número 1. Por tanto, se puede apreciar como el stock va reduciéndose. Como se ha explicado, el proveedor necesita un tiempo para entregar el pedido y no se permite la rotura de stock; por lo tanto, se necesitará conocer el tiempo de entrega L que tarda el proveedor (es dato) y una demanda media durante el plazo de entrega m que garantice la existencia de productos siempre. De esta manera se define también el punto de lanzar el pedido P_p . [3]

Para incrementar la fiabilidad de stock se puede definir un stock de seguridad; de esta manera en el momento de recibir el pedido todavía habría existencias en el almacén. Además, ahora las existencias máximas serán la suma del stock de seguridad S_s + la cantidad de pedido Q .

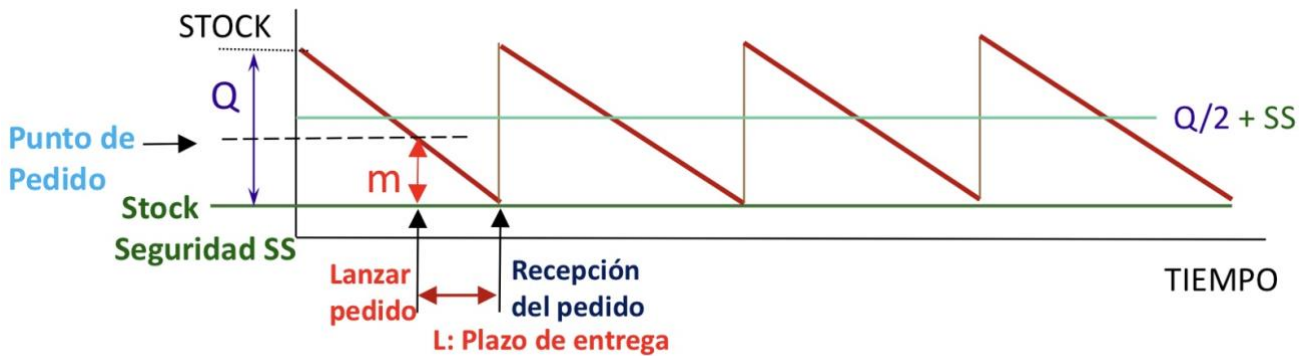


Figura 2-5. Perfil de inventario a lo largo del tiempo con stock de seguridad. [2]

En la figura anterior, se puede observar, además, que aparece la línea de stock medio que viene definida por la siguiente formula:

$$\bar{S} = S_s + \frac{Q}{2} \quad (2-1)$$

Este parámetro es fundamental para obtener los costes de mantenimiento ya que, como aparece en la asunción 4, estos dependen del nivel medio de existencias. El coste de mantenimiento será entonces:

$$C_p = g \left(S_s + \frac{Q}{2} \right) \quad (2-2)$$

Siendo g el coste de tener una unidad almacenada durante un año.

El número de pedidos anuales se obtendrá de dividir la demanda anual D entre el tamaño de cada lote Q (tamaño óptimo):

$$\frac{D}{Q} \quad (2-3)$$

El coste de emisión de pedidos será igual al coste de emisión de un pedido k por el número total de pedidos.

$$C_r = k \frac{D}{Q} \quad (2-4)$$

Por tanto, el coste total es:

$$C_T = C_p + C_r \quad (2-5)$$

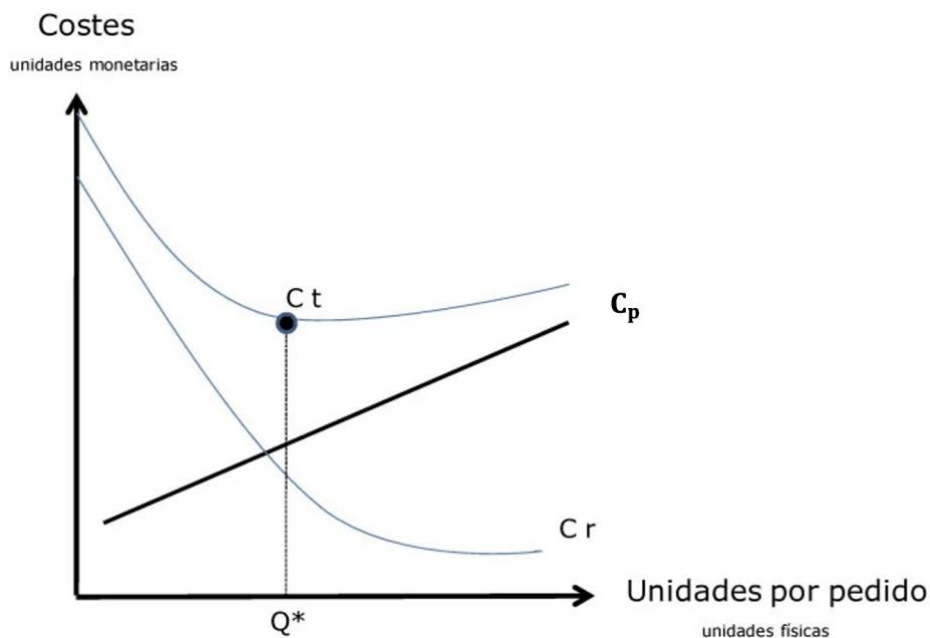


Figura 2-6. Gráfica de costes del Modelo de Wilson [7]

De acuerdo con la figura anterior, se observa que la cantidad óptima de pedido es aquella en la que los costes totales son mínimos. Por tanto, en el análisis matemático se buscará el mínimo absoluto de la función C_T , es decir hay que derivar con respecto a Q e igualarlo a 0.

$$\frac{dC_T}{dQ} = -k \frac{D}{Q^2} + \frac{g}{2} = 0 \quad (2-6)$$

Despejando Q se obtiene:

$$Q = \sqrt{\frac{2kD}{gc}} \quad (2-7)$$

Una vez se conoce el tamaño óptimo de pedido Q , la demanda anual D y los días laborales en un año DH ; se puede obtener los días que transcurren entre pedidos.

$$\frac{DH}{D/Q} \quad (2-8)$$

Por último, se necesita hallar el stock en el punto de pedido. Para ello, se comenzará con la demanda diaria.

$$\frac{D}{DH} \quad (2-9)$$

Por tanto, el consumo de existencias m que habrá en el tiempo transcurrido L desde la orden de pedido hasta la recepción será:

$$m = L \frac{D}{DH} \quad (2-10)$$

Por tanto, de acuerdo con la Figura 2-5 el nivel de inventario que habrá en el punto de pedido será:

$$S_S + m = S_S + L \frac{D}{DH} \quad (2-11)$$

2.3.1 Supuestos de aplicabilidad.

El modelo *Economic Order Quantity (EOQ)* o la *cantidad económico de pedido* es el modelo más empleado en el ámbito empresarial ya que es el modelo matemático más sencillo para la gestión de inventarios. Se utilizará principalmente para productos de revisión continua y volumen constante. Por tanto, será óptimo para productos A .

2.3.2 Datos obtenidos con su aplicación.

En primer lugar, es importante tener en cuenta que el modelo EOQ es un modelo que se verá afectado por los condicionantes que cada empresa quiera imponer o tener en cuenta. De este modo, se pueden incluir stock de seguridad e incluso costes por ruptura de stock. El presente trabajo se centrará en el modelo básico, el modelo con stock de seguridad y se presentará el concepto de coste de oportunidad.

De este modo el stock irá reduciéndose en el tiempo a medida que se vende o se consumen los productos r (siendo r una demanda respecto al tiempo), así las existencias en el momento actual $S(t)$ en el instante t vendrá dado por la siguiente expresión:

$$S(t) = Q - rt \quad (2-12)$$

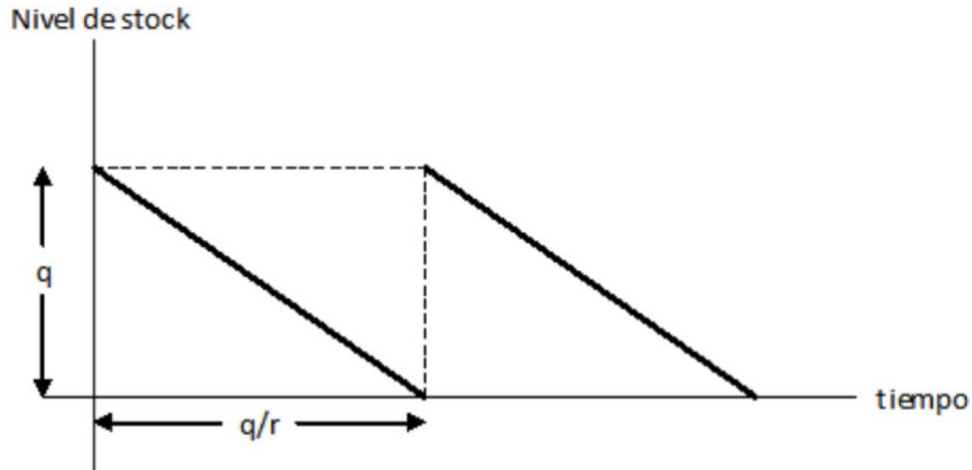


Figura 2-7 Funcionamiento del modelo EOQ [8]

Los costes de mantenimiento C_p será, el producto del nivel de stock, por el coste unitario de almacenamiento anual g , por el precio de adquisición unitario c . El coste unitario anual se dará en un porcentaje del coste de adquisición unitario del producto, el cual tenemos en stock. Por tanto, como el coste de mantenimiento se tiene que evaluar a lo largo de todo el consumo, este tiempo corresponde a Q/r , la fórmula del coste de mantenimiento será:

$$C_p = \int_0^{Q/r} S(t)gc \, dt \quad (2-13)$$

Por norma general, se utiliza el nivel de inventario medio para calcular los costes de mantenimiento, como en el modelo de Wilson. Además, se ha demostrado que, entre usar el stock medio y 2 veces la cantidad óptima de pedido, el coste total se incrementa menos del 25%.

Los costes de emisión del pedido serán igual al número de pedidos realizados en un año por el precio unitario de cada orden de pedido. Al igual que en el modelo de Wilson, tendrán una progresión lineal de la forma:

$$C_r = \frac{D}{Q}k \quad (2-14)$$

El coste de adquisición es, en pocas palabras, el precio de cada unidad que se va a comprar. Es por ello por lo que será constante e igual a la demanda anual por el precio del artículo c .

$$C_a = Dc \quad (2-15)$$

Por último, existe el coste de oportunidad C_o . Este coste es igual al valor de la mejor opción no seleccionada. Cuando se escoge una alternativa, se dejan de recibir recursos o existe un coste por no haber escogido la otra. Su valor viene determinado por el producto del coste de oportunidad i por el precio unitario del producto c por el inventario medio.[9]

Como resultado, el coste total será la suma de los anteriores.

$$C_T = C_r + C_a + C_p + C_o \quad (2-16)$$

El punto económico de pedido será el punto donde el coste total se hace mínimo, por tanto, se debe evaluar la función C_T y observar donde la primera derivada se hace 0. Despejando Q se obtiene que el EOQ es:

$$Q = \sqrt{\frac{2kD}{gc + ic}} \quad (2-17)$$

Respecto a lo que corresponde a los tiempos, se obtienen de la misma manera que en el modelo de Wilson. Así la cantidad de pedidos n , será la demanda anual, D , por la cantidad óptima de pedido.

$$n = \frac{D}{Q} \quad (2-18)$$

El tiempo entre pedidos, t , serán los días hábiles o que la empresa funcione, DH , entre el número de pedidos al año.

$$t = \frac{DH}{n} \quad (2-19)$$

Por tanto, la demanda diaria, q_d será el cociente entre la demanda anual y los días que la empresa esté en funcionamiento. [10]

$$q_d = \frac{D}{DH} \quad (2-20)$$

Además, es necesario saber cuánto tiempo transcurre entre que se emite la orden de pedido hasta que se recibe en el almacén, L . De esta manera, y conociendo la demanda diaria se podrá obtener cuanto se va a consumir en ese tiempo m :

$$m = q_d L \quad (2-21)$$

En el modelo sin stock de seguridad m es igual al punto de pedido, P_p . Es decir, cuando en el almacén que de m existencias se tendrá que emitir la orden de pedido.

Para el cálculo del punto de pedido existe un modelo probabilístico, en el que se tienen en cuenta dos puestos: existencia de variabilidad en lo que se consume hasta que llega el proveedor o variabilidad en el plazo de entrega del proveedor.

- Si existe variabilidad en la demanda:

En este caso, se tendrán como dato la desviación estándar de la demanda σ en el plazo de entrega L (en unidades) y el nivel de servicio P que se obtiene de buscar un factor de seguridad Z en la tabla de distribución normal

De este modo, el stock de seguridad es el dato que se debe de obtener primero siendo este el producto del factor de seguridad Z por la desviación estándar.

$$P_p = m + S_s = m + Z\sigma \quad (2-22)$$

- Si existe variabilidad en el plazo de entrega:

El dato de partida será la desviación estándar σ del plazo de entrega L (en días). Entonces, el stock de seguridad será el producto de la demanda diaria q_d por el factor de seguridad Z y por la desviación estándar σ . Por tanto:

$$P_p = m + S_s = m + q_d Z \sigma \quad (2-23)$$

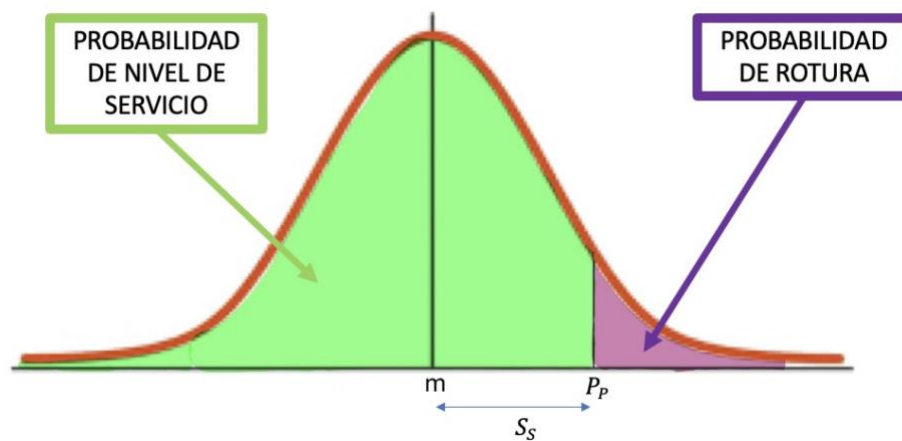


Figura 2-8 Distribución normal $N(0,1)$ [2]

2.4 Modelo dos contenedores o Two Bin

El modelo Two Bin se utiliza para inventarios de poco valor y mucha cantidad. El funcionamiento es muy sencillo pero el riesgo de rotura de stock puede ser elevado si no se realiza el control necesario. El sistema de control se desarrolla de forma visual y es el observador el que decide en qué momento emitir la orden de pedido. El sistema consiste en dos cajas de componentes a emplear llenas situadas en diferentes emplazamientos, uno en el borde de la línea de montaje y otra en el almacén. Cuando se vacía la de la línea de montaje se reemplaza por la del almacén y la vacía se rellena. La cantidad de cada caja debe ser lo suficientemente holgada para cumplir con la demanda mientras se cursa el pedido para rellenar.

Este modelo está relacionado con el sistema Kanban y la filosofía Lean. De este modo, al abrir una caja en su interior habrá una etiqueta que se tendrá que entregar a la sección de compras para que esta emita una nueva orden de pedido al proveedor. [5]

2.5 Decisiones estratégicas organizacionales.

Se entienden como decisiones estratégicas aquellas que comportan la realización en un periodo de tiempo de acciones que afecten en el modo de trabajo de la organización a largo plazo. Estas decisiones se realizan en altos niveles organizativos y necesitan de un análisis previo, un desarrollo y una evaluación posterior. Se desarrollan estas estrategias en relación con producir un producto o proporcionar un servicio que satisfaga los requerimientos del cliente y cumpla con los objetivos de costes y de gestión.

2.5.1 Estrategias de proceso.

Esta primera estrategia está orientada al cómo se produce y varía en función de la cantidad y variedad del producto. Son estrategias que siguen una continuidad y pueden coexistir diferentes tipos dentro de una organización. Se pueden distinguir tres diferentes tipos de estrategias:

- Enfoque de proceso o Job Shop: se da preferencia a la variedad frente a la cantidad, donde los operarios están muy cualificados, siendo capaces de desarrollar diferentes operaciones y usar varios tipos de máquinas. La distribución de las instalaciones está organizada en función de los procesos-máquinas, estando juntos aquellos que son similares. Los recorridos en la fábrica varían según el producto, siendo la flexibilidad la principal característica de esta estrategia.
- Estrategia de enfoque al producto o Flow Shop: gran volumen de producto y poca variedad, es decir, todo se organiza en torno al producto. En este caso, las instalaciones son especializadas, altamente automatizadas, costosas y poco flexibles; realizando los trabajadores labores muy repetitivas. Se puede desarrollar de dos formas diferentes: la

primera, fabricando grandes lotes de unidades de fabricación discreta y; la segunda, procesos continuos del mismo producto.

- Estrategia de proceso repetitivo o cadena de montaje: su éxito se basa en la utilización de módulos que son partes o componentes ya preparados que se ensamblan de diferentes maneras obteniendo resultados distintos y permitiendo una cuasi-personalización. Este proceso aúna los beneficios de las otras dos estrategias consiguiendo bajos costes por unidad producida, pero pudiendo ofrecer una gran variedad de productos. Las instalaciones se organizan en líneas de montaje.

	Enfoque de proceso	Enfoque repetitivo	Enfoque de producto
Producto	Poca cantidad, mucha variedad.	Grandes lotes, estandarizado	Mucha cantidad, poca variedad
Equipo	Genérico	Mayoritariamente especializado	Muy especializado
Operarios	Expertos y cualificados	Relativamente entrenados	Altamente especializados
Tipo de operación	Muchas instrucciones, planificación compleja	Operaciones repetitivas, planificación sencilla	Estandarización, menos ordenes e instrucciones
Tipo de inventarios	Muchas existencias de materias primas y productos intermedios	<i>Just in Time</i> o producción justo a tiempo	Bajo nivel de stock de materias primas y productos intermedios
Flujo de trabajo	Lento (flexible)	Horas y días	Movimiento rápido (continuo)
Producción	Bajo pedido y no se almacena	Según previsiones	Según previsiones con almacenamiento
Costes	Costes fijos bajos y costes variables altos	En función de la flexibilidad	Costes fijos altos y bajos costes variables

Tabla 2-2 Resumen estrategias de proceso [Autoría propia]

Además de las tres estrategias de proceso explicadas anteriormente, existiría una cuarta llamada mezcla de procesos. Tiene como objetivo producir de forma rápida productos que satisfagan los deseos del cliente. Las características de esta estrategia son la flexibilidad en el proceso y la eficiencia en el enfoque del producto. [11]

2.5.2 Capacidad de las instalaciones.

La capacidad de las instalaciones influye directamente en el tipo de proceso que se utiliza, así como en el grado de automatización. Además de que esta va intrínseca a los niveles de inventario que una organización puede asumir. Las etapas que se han de seguir para decidir sobre la capacidad de las instalaciones son las siguientes:

- Establecer una medida adecuada de la capacidad.
Se entiende capacidad como el máximo de producción posible en un tiempo determinado. La principal problemática surge en los casos de producción múltiple, pues al sumar productos

en diferentes unidades resulta difícil conocer la capacidad real que una organización puede asumir. Además, esta variable depende también de factores intangibles como pueden ser el número de horas de trabajo, donde la casuística asume un rol fundamental. Se distingue entre capacidad punta, capacidad sostenible y capacidad eficiente.

- ii. Previsión de la demanda.
Esta viene determinada por el estudio que realice la dirección de marketing o ventas, que serán los que le darán el dato al departamento de producción.
- iii. Conocer la producción necesaria.
Se define capacidad o producción necesaria como la diferencia entre el nivel de demanda previsto y la capacidad disponible. El problema de esta etapa se encuentra en que la demanda no es un valor que se pueda conocer con certeza, existiendo una variabilidad en esta supeditada a agentes externos a la organización.
- iv. Generación de alternativas, evaluación y decisión final.
En esta etapa se desarrollan y se analizan las posibles respuestas a cuál es la capacidad precisa, en qué momento se necesitará y dónde habrán de situarse las instalaciones. La decisión es tomada por los altos niveles organizativos. [3]

2.5.3 Localización de las instalaciones.

El propósito de esta estrategia es sacar el mayor rendimiento a la localización de la organización. Para escoger el mejor emplazamiento se seguirá la secuencia: país, región y lugar.

En lo referente al país, se buscará uno donde las disposiciones legales y los impuestos sean viables. También se tendrá en cuenta la cultura y la forma de ser de la sociedad, además de la proximidad al mercado y la disponibilidad de suministros y energía. Respecto a la ciudad o región, se verá afectada la elección por la proximidad a las materias primas y proveedores, la disponibilidad de la mano de obra, la reglamentación medioambiental y los costes del suelo y de edificación. Por último, el lugar está determinado por la disponibilidad, tamaño y coste del terreno; el acceso a comunicaciones y vías comerciales y por las restricciones urbanísticas de la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior, existen tres métodos para evaluar las posibles localizaciones:

- Método de factores ponderados o método de Brown-Gibson:
Es la técnica más utilizada y consiste en, dados posibles emplazamientos, calificar cada uno de ellos en función de diferentes factores que, además, no tendrán la misma influencia. Este método distingue entre tres tipos de factores: factores críticos, factores objetivos y factores subjetivos.
Los factores críticos son aquellos que son imprescindibles para la producción, como por ejemplo la disponibilidad de energía eléctrica, de mano de obra cualificada o de materia prima. Estos factores se consideran críticos y, por tanto, solo pueden tomar valor 0 o 1 y actúan de forma multiplicativa.

$$F_C = F_{1i} * F_{2i} * F_{3i} * ... \quad (2-24)$$

Siendo F_{ji} el valor que toma el factor j en la zona i .

Los factores objetivos son aquellos costes mensuales o anuales de los aspectos más importantes, como pueden ser el coste de la mano de obra, coste de la materia prima o el coste del factor de producción. Para obtener el factor, se realizará la suma aritmética de cada uno de los factores para determinar el coste total en una determinada zona C_i :

$$C_i = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + \dots \quad (2-25)$$

Y se calcula el coeficiente:

$$FO_i = \frac{1/C_i}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots} \quad (2-26)$$

De este modo, el sumatorio de todos los FO_i será igual a 1.

Por último, es necesario hallar el valor de los factores subjetivos, realizándose una comparativa entre la viabilidad o la existencia de ese factor en una zona respecto a las otras. Siendo, al igual que en los factores objetivos, un porcentaje. De este modo, el factor subjetivo de cada zona viene dado por la siguiente expresión:

$$FS_i = w_1 S_{1i} + w_2 S_{2i} + w_3 S_{3i} + \dots \quad (2-27)$$

Siendo S_{ji} el valor que toma el coeficiente del factor subjetivo j en la zona i , y donde w_j es el coeficiente de ponderación. De modo que la suma de estos coeficientes es igual a la unidad.

$$w_1 + w_2 + w_3 + \dots = 1 \quad (2-28)$$

Una vez ya se han obtenido los factores, el último paso consiste en la integración de estos tres en un único valor mediante la fórmula del algoritmo sinérgico. De este modo se obtendrá la ubicación óptima que vendrá dado por el factor IL_i mayor.

$$IL_i = FC_i [\alpha FO_i + (1-\alpha)FS_i] \quad (2-29)$$

El coeficiente de confiabilidad, α , es el coeficiente comprendido entre 0 y 1 con el cual se puede dar más o menos importancia a los factores objetivos y subjetivos. [11]

- **Análisis del punto muerto de localización:**
Se trata de un método de análisis coste-volumen para una posterior comparativa económica de todos los posibles emplazamientos. Para realizar este estudio se tendrán que determinar los costes fijos y variables de cada localización y, de este modo, elaborar un gráfico posteriormente donde se comparen los costes de cada localización (eje vertical) frente al volumen anual de producción (eje horizontal). Posteriormente, se escogerá la localización que proporcione el coste total mínimo para esa demanda prevista.

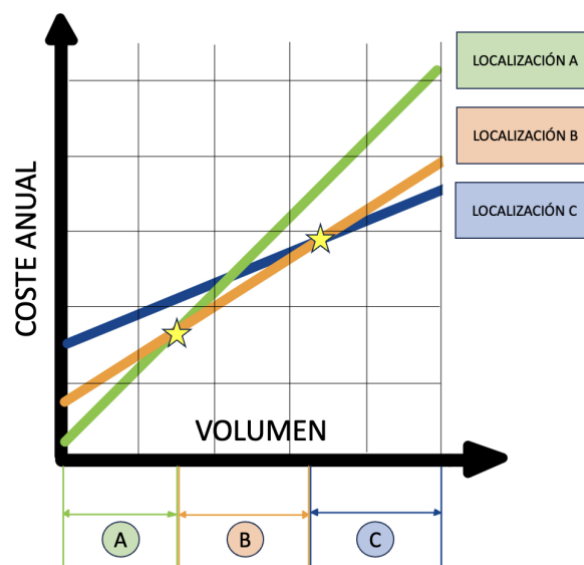


Figura 2-9 Diagrama punto muerto de localización [Autoría propia]

- Método del centro de gravedad.
Método matemático que permite obtener la mejor localización para un punto único de distribución. Se han de considerar tanto la localización de los posibles destinos y el volumen de transporte, como la distancia o coste de transporte. Para conseguir el mejor lugar se deben situar los posibles emplazamientos en un sistema de coordenadas. Posteriormente, se calcularán las coordenadas x e y el *centro de gravedad*, obteniendo de esta manera la localización óptima con el mínimo coste de transporte.
Las coordenadas para hallar el centro de gravedad serán:

$$\begin{array}{l} \text{Coordenada} \\ x \end{array} \quad C_x = \frac{\sum_i d_{ix} W_i}{\sum_i W_i} \quad (2-30)$$

$$\begin{array}{l} \text{Coordenada} \\ y \end{array} \quad C_y = \frac{\sum_i d_{iy} W_i}{\sum_i W_i} \quad (2-31)$$

Siendo d_{ij} la coordenada x o y ($j=x$, o $j=y$) de la localización i y, W_i la cantidad de bienes transportados desde o hasta la localización i .

2.5.4 Distribución en planta o layout.

La estrategia de distribución en planta consiste en la disposición espacial de una organización. Es una estrategia clave ya que optimiza la capacidad productiva, reduciendo tiempos y costes tanto de almacenamiento como de transporte. Afecta directamente a la flexibilidad, favorece el control de las operaciones y busca la seguridad y ergonomía de los trabajadores. Además de que, con una buena distribución en planta se mejora la imagen cara al público y la moral de los empleados aumenta. [12]

Los tipos de distribución en planta se clasifican de la siguiente forma:

- Distribución de posición fija: para grandes proyectos o muy voluminosos.
- Distribución orientada al proceso: el objetivo de esta distribución es producir poco volumen de una gran variedad de productos.
- Distribución en células de fabricación flexible: óptimo para cumplir con las necesidades de una organización con un enfoque de proceso repetitivo o cadena de montaje (ver pág.23).
- Distribución orientada al producto: busca la mejor utilización del personal y la maquinaria en una producción repetitiva o continua.
- Otros: almacenes, comercios, oficinas.

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre todas las posibles distribuciones:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS	DIAGRAMA
POSICIÓN FIJA	- Proceso de trabajo flexible. Los puestos de trabajo se instalan de forma provisional. - Gran organización y programación del proceso. Controlando tiempos y costes. - No hay recorridos ni desplazamientos innecesarios.	- Gran importancia de las relaciones de precedencia entre tareas, el coste de cada etapa, el camino crítico y los retrasos.	 [13]

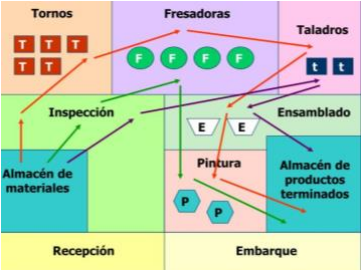
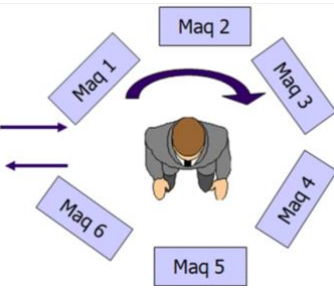
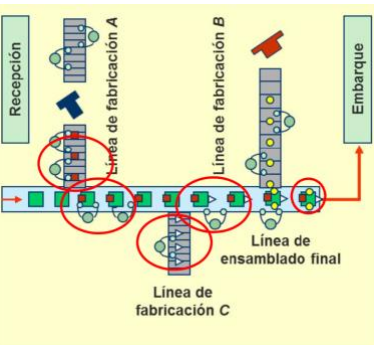
ORIENTADA AL PROCESO	- Versatilidad de equipos y personal cualificado. Mayor flexibilidad y fiabilidad. - Menores inversiones en equipos. - Mayor motivación de los trabajadores.	- Alto tiempo de ejecución. - Dificultad de programar y controlar. - Coste por unidad elevado. - Baja eficiencia en equipos. - Baja productividad.	 [14]
CELULAS DE FABRICACIÓN FLEXIBLE	- Menor espacio de planta necesario. - Reducción de inventarios. - Menor coste de mano de obra directa. - Trabajadores participativos y cohesionados. - Mayor calidad, fácil inspección. - Optimización de equipos. [15]	- Necesidad de personal cualificado. - Alto coste inicial en equipos y sistemas. - Reestructuración completa de la producción por familia de piezas.	 [11]
DISTRIBUCIÓN ORIENTADA AL PRODUCTO	- Bajo coste variable. - Bajo nivel de stock de productos en proceso. - Simplificación de tareas y de los sistemas de control y programación. - Mínimo tiempo de fabricación y reducido manejo de materiales.	- Ausencia de flexibilidad en el proceso y en los tiempos. - Inversión elevada. - Dependencia total de máquinas, personal y piezas. - Poca motivación debido a los trabajos muy monótonos.	 [13]

Tabla 2-3 Resumen distribuciones en planta. [Autoría propia]

2.6 Modelo matemático.

Se entiende como modelo matemático la representación simplificada de una realidad compleja. Es decir, modelar es expresar la realidad mediante relaciones, ecuaciones y fórmulas matemáticas para convertirse en una herramienta para ayudar en la toma de decisiones. Generalmente en la modelación existen dos figuras fundamentales: el modelador y el experto. Estas figuras no tienen por qué estar representadas solamente por una persona, sino que suelen ser equipos multidisciplinares. [16]

Los beneficios de un modelo matemático son:

- Organiza los datos y la información de un sistema.
- Favorece a la estructuración y comprensión de un sistema.
- Mejora la jerarquía organizacional.
- Permite analizar simulaciones y resultados entre el modelador y el experto.

- Agilidad y sensibilidad en el análisis.
- Indica la dirección de mejora en las decisiones.

La modelización sigue el siguiente patrón:

- i. Identificación de un problema: es una etapa fundamental ya que, en caso de no definirlo bien, las conclusiones obtenidas podrían ser erróneas o directamente que la solución no sea de interés. Por ello es necesario recopilar información y analizarla, y establecer el nivel de relación entre experto y modelador.
- ii. Especificación matemática y formulación: en esta fase se escribe de forma matemática el problema, definiendo sus variables, relaciones entre ellas, parámetros y ecuaciones.
- iii. Resolución: el objetivo de esta fase es proporcionarle al experto una guía de actuación. En esta, se implantará un algoritmo de obtención de la solución numérica lo más próxima a la solución exacta matemática. Siendo esta la alternativa más oportuna para la solución del problema.
- iv. Verificación, validación y refinamiento: durante esta etapa se busca que el algoritmo haga exactamente lo que se deseaba matemáticamente en un lenguaje informático. Además, es necesario contrastar los resultados que se van obteniendo con la realidad para ver si existe coherencia con lo que sucedería.
- v. Interpretación y análisis de resultados: en esta se busca realizar un análisis de la sensibilidad en los parámetros, es decir, comprobar la robustez del sistema.
- vi. Implantación, documentación y mantenimiento: es una etapa clave ya que el objetivo es la difusión. Este documento debe ser claro, preciso y completo incluyendo la especificación técnica funcional, la matemática y la informática. Además, es necesario recoger en esta documentación una guía de buenas prácticas y de mantenimiento del propio código o programa. [17]

2.6.1 Clasificación de los modelos matemáticos.

Un modelo matemático viene determinado por las siguientes características:

- Estructura de los objetivos y restricciones (lineal o no lineal).
- Características de las variables (reales, discretas o binarias).
- Certidumbre de los parámetros (ciertos o inciertos).
- Número de objetivos (ninguno, uno, o múltiples)
- Número de restricciones (ninguna, más de cero)

Esta representación se puede categorizar en los siguientes tipos:

- Modelos cuantitativos y cualitativos: estos dos modelos no son modelos opuestos, sino que uno es el precedente del otro. De este modo, una organización tendrá que realizar primeramente un análisis y definir un modelo cualitativo para, posteriormente, desarrollar un modelo cuantitativo. La rama que se encarga de esta transición es la investigación de operaciones. Por tanto, se dirá que se ha obtenido un modelo cuantitativo cuando sea posible representar relaciones entre constantes y variables utilizando símbolos.
- Estándares y hechos a la medida: aquellos modelos que con unos simples ajustes sean capaces de obtener una respuesta válida para situaciones similares serán modelos estándares. Por el contrario, aquellos que sirvan exclusivamente para un problema específico recibirán el nombre de modelos hechos a la medida.
- Probabilísticos y determinísticos: el elemento diferenciador entre estos dos tipos de modelos es la atención a la probabilística de futuras situaciones. Por tanto, los probabilísticos son aquellos en los que se tienen en cuentas las estadísticas y las probabilidades y, los determinísticos aquellos que ponen el énfasis en circunstancias que son críticas y donde las cantidades son exactas.

- Descriptivos y de optimización: cuando el modelo solo describe un sistema real, ayudando a su comprensión y a un futuro análisis, el modelo es descriptivo. Sin embargo, aunque con este tipo de modelos se obtenga una solución, no permite al usuario comparar entre diferentes opciones. Es por eso por lo que, si el objetivo es encontrar la mejor opción o la opción óptima comparando diferentes alternativas en base a unos criterios de entrada, entonces será necesario un modelo de optimización.
- Estáticos y dinámicos: los modelos estáticos buscan una solución teniendo en cuenta una serie de condiciones fijas no variables en el tiempo. En los modelos dinámicos el tiempo juega un papel fundamental ya que condiciona todo afecta a la secuencia de las decisiones independientemente de cuáles hayan sido las anteriores.
- De simulación y no simulación: con las nuevas tecnologías es posible realizar simulaciones paso por paso de un sistema para analizar su funcionamiento. Además, permite al usuario insertar, además de datos reales, datos generados de forma aleatoria. Aquellos modelos que no permitan este tipo de dato son modelos no simulados [18]

En base a las anteriores se pueden encontrar las siguientes tipologías de programación:

- i. Programación lineal: son aquellos problemas de optimización definidos por una función objetivo lineal y una serie de restricciones de igualdad o desigualdad consistentes en funciones lineales de variables reales.
- ii. Programación entera: son problemas de optimización donde el dominio de las variables no es real (continuo) sino discreto. En este tipo de modelos mejor cuantas más restricciones haya, al contrario que los modelos lineales.
- iii. Programación no lineal: modelos de optimización donde se desea minimizar o maximizar una función objetivo sujeta o no a ciertas restricciones. En el caso de que el modelo sea irrestricto, la función debe ser no lineal, en el caso de que el modelo tenga restricciones se debe tener que la función objetivo o al menos alguna de las restricciones es no lineal.
- iv. Programación lineal binaria o problemas de combinatoria: Es un problema de optimización donde el dominio de las variables solo puede adoptar el valor 0 o 1.
- v. Programación estocástica: estos son aquellos modelos de optimización en los que existe aleatoriedad en los parámetros. En estos existen dos tipos de variables de decisión que permiten enfrentar la presencia de parámetros aleatorios: aquellas variables cuyo valor se toma independiente de la realización (futura), y otra en la que ese valor se toma en función de las decisiones en respuesta a esa realización dando flexibilidad al modelo. [19]

2.6.2 Programación no lineal.

Aunque es cierto que las ecuaciones lineales son más sencillas y existe mayor bibliografía al respecto, el mundo real es principalmente de naturaleza no lineal.

En los modelos de optimización no lineal o también conocidos como problemas de programación no lineal se parte de una función objetivo que se maximiza o minimiza. Además, esa función objetivo puede o no estar sujeta a una serie de restricciones. Estas pueden ser restricciones de desigualdad, restricciones de igualdad o bien, restricciones de positividad en las variables. De este modo, si la función a optimizar es no lineal se dice que el problema es de programación no lineal

La forma general de un problema de programación no lineal viene dada como:

Min $f(x)$

sujeto a $x \in S$

Todos aquellos puntos que satisfacen las restricciones pertenecen al espacio de solución o región factible S . Si S es el conjunto de vectores en R^n y f es una función no lineal se dice que el modelo de optimización es un problema de programación no lineal sin restricciones, el cual puede tener única,

infinitas o ninguna solución. En el caso de que existan infinitas soluciones, algunas de ellas pueden ser locales y otras globales. Una solución es global si corresponde al mínimo valor que alcanza la función en todo el conjunto S . Por el contrario, si la solución corresponde al mínimo valor de la función en una vecindad de la solución esta se denomina solución local. En el caso de que el conjunto S sea no vacío, existan restricciones (S distinto del vacío), se dice que el problema de optimización no lineal es restricto y el espectro de posibilidades para el espacio solución de un problema es infinito y depende en gran medida del tipo y la cantidad de restricciones que tiene el conjunto factible S . A continuación, se desarrollan los ocho casos más genéricos de clasificación según el espacio de solución S . [20], [21]

- Caso I.

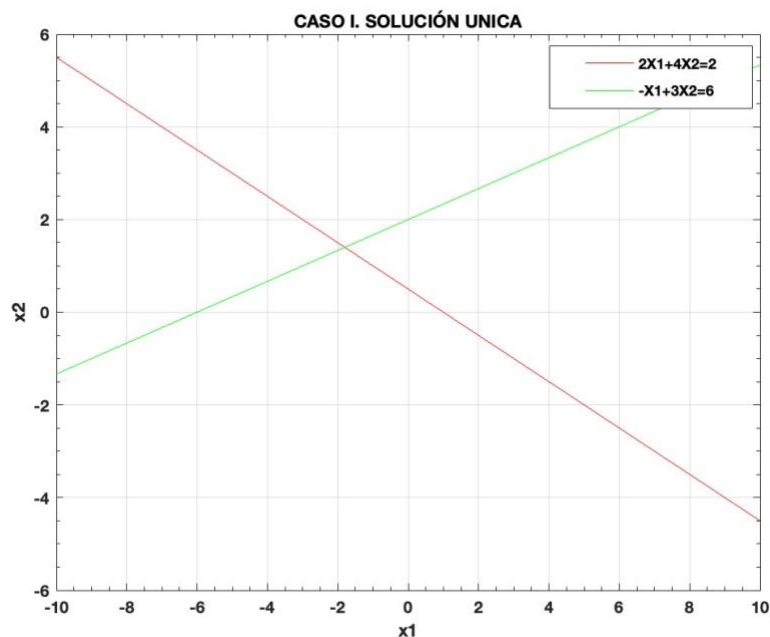


Figura 2-10 Tipología espacio de solución. Caso I [Autoría propia]

Cómo se puede observar, en este caso se tienen dos restricciones lineales, que además son de igualdad y por tanto el espacio de solución es convexo¹. Como estas dos líneas son secantes se concluye que existe una única solución en el punto de corte.

¹ Un espacio solución es convexo si al unir dos puntos de la región factible de una forma lineal, todos los puntos de la recta se encuentran dentro de dicha región. En programación no lineal se habla de convexo y no convexo exclusivamente.

- Caso II.

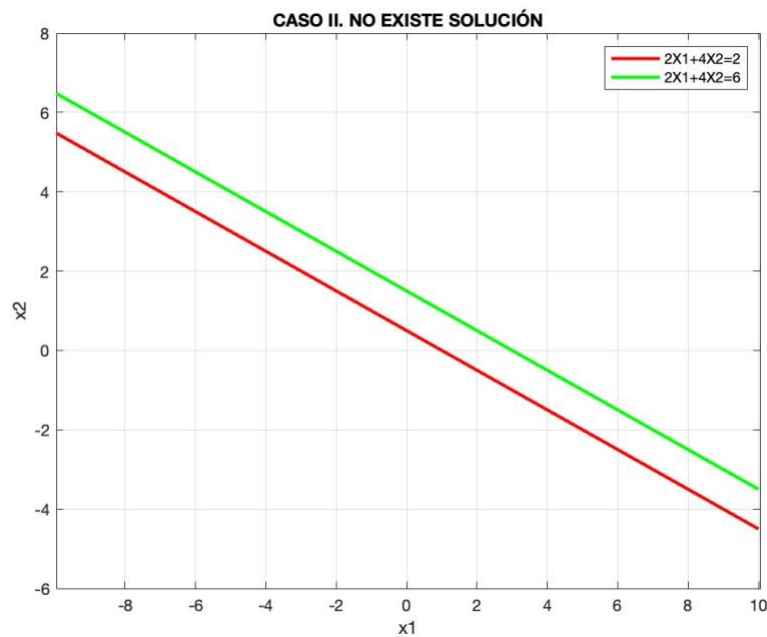


Figura 2-11 Tipología espacio de solución. Caso II [Autoría propia]

En este caso, las dos rectas que definen el espacio de solución son lineales de igualdad y paralelas, por tanto, no existe solución.

- Caso III.

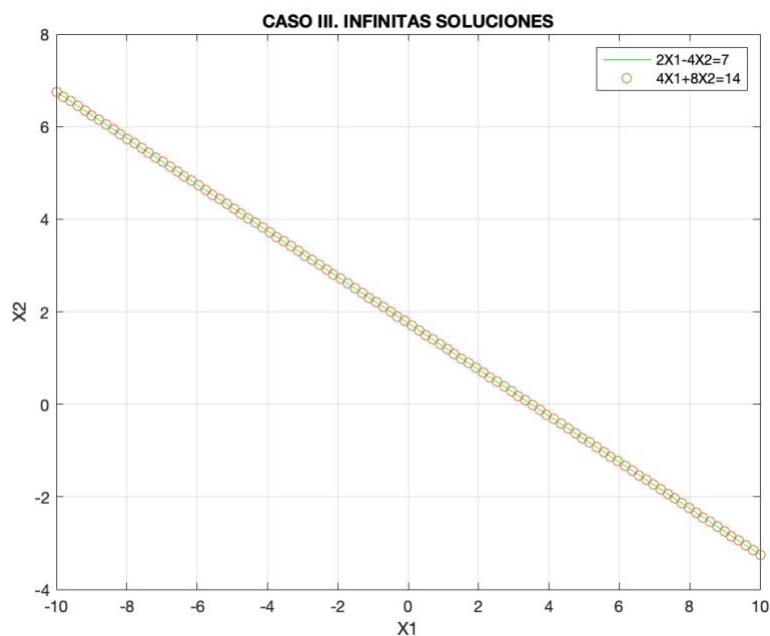


Figura 2-12 Tipología espacio de solución. Caso III [Autoría propia]

En el tercer caso, se observa como ambas restricciones de igualdad lineales son realmente la misma función y por tanto la restricción es redundante. Por tanto, el espacio de solución es lineal, convexo y con infinitas soluciones.

- Caso IV.

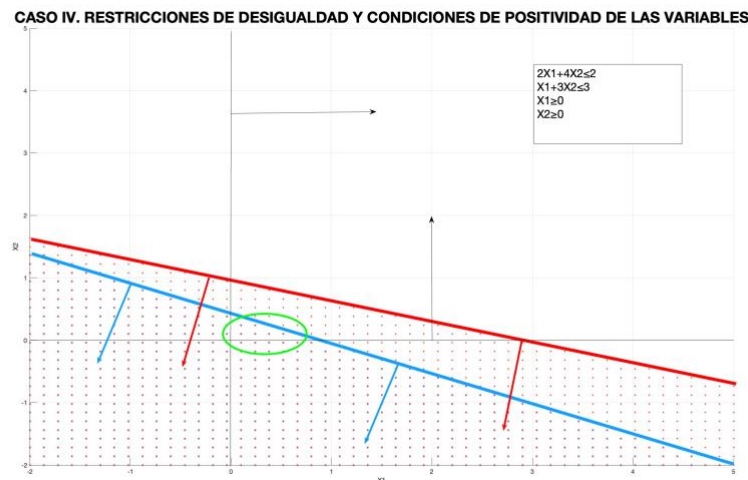


Figura 2-13 Tipología espacio de solución. Caso IV [Autoría propia]

En este caso, ya no existen restricciones de igualdad, sino que son restricciones lineales de desigualdad. De este modo, el espacio solución será todo el espacio común por debajo o por encima de las rectas que definen la inecuación. Sin embargo, en este caso también existen condiciones de positividad de las variables y, por tanto, solo es válido parte del primer cuadrante, tal y como aparece en la Figura 2-13. Por tanto, el espacio de solución es lineal, con restricciones de desigualdad, con condiciones de positividad y convexo.

- Caso V.

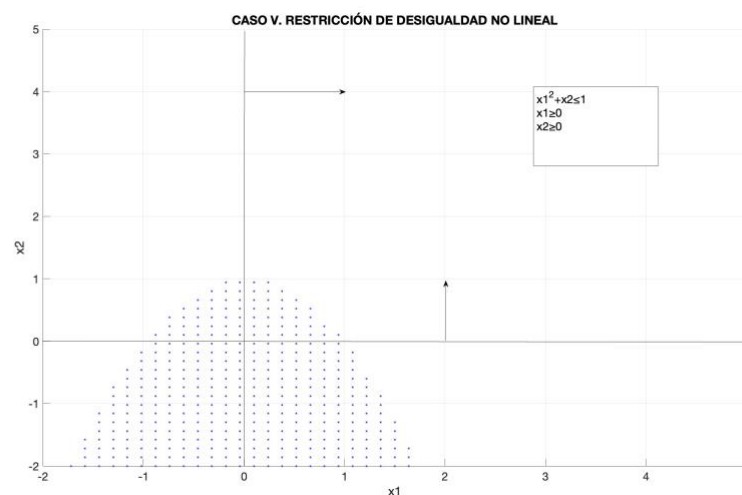


Figura 2-14 Tipología espacio de solución. Caso V [Autoría propia]

En el caso V ya no existen restricciones lineales, sino que la restricción es no lineal y, además en este caso, es una desigualdad con positividad en las variables. Por tanto, el caso V presenta un espacio de solución restringido y convexo definido solo en el primer cuadrante.

- Caso VI.

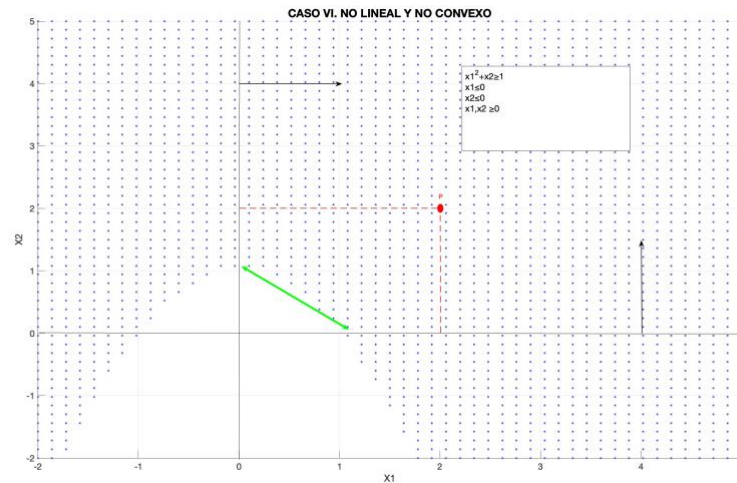


Figura 2-15 Tipología espacio de solución. Caso VI [Autoría propia]

En esta situación se tiene una restricción no lineal de desigualdad, una restricción de positividad de las variables y, además, una restricción que delimita la región factible al cuadrado formado entre el origen y el punto P (2,2) representado en rojo en la Figura 2-15. Además, es el primer caso en el que el espacio solución es no convexo, ya que, como se demuestra gracias a la recta verde que aparece en la figura anterior, es posible unir dos puntos cualesquiera de la región solución y que no todos los puntos de esa recta formen parte de dicha región.

- Caso VII.

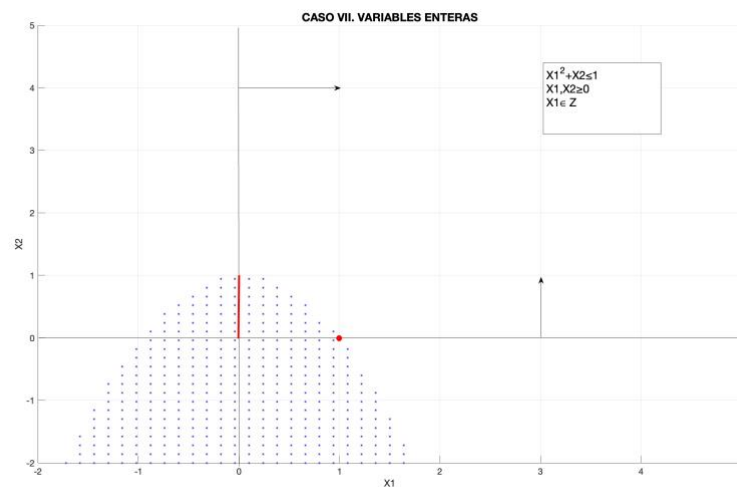


Figura 2-16 Tipología espacio de solución. Caso VII [Autoría propia]

Este caso es una particularidad del Caso V. Sin embargo, en este caso, además de las características ya explicadas, existe que la restricción de que x_1 pertenece a los números enteros. Por tanto, se tendrá solamente el punto (1,0) y los infinitos puntos de la recta entre el origen y el punto (0,1) como candidatos a óptimos. De esta manera el espacio solución será no lineal, con restricciones de desigualdad, positividad de las variables, variables continuas y enteras y convexo.

- Caso VIII.

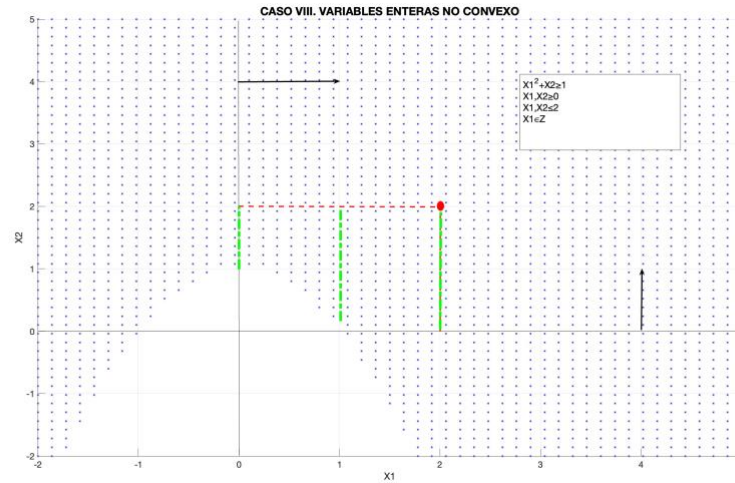


Figura 2-17Tipología espacio de solución. Caso VIII [Autoría propia]

Por último, este caso es una mezcla entre los dos casos anteriores. El espacio de solución está limitado por la restricción no lineal, la condición de positividad de las variables, el punto (2,2) y, además, x_1 pertenece a los enteros. Por tanto, es espacio solución todos los puntos comprendidos entre la curva que define la inecuación y el cuadrado formado entre el origen y el punto (2,2) cuyo valor de x_1 sea igual a 0,1 o 2, tal y como aparece representado en línea discontinua verde en la Figura 2-17Tipología espacio de solución. Caso VIII. Este espacio, al igual que en el Caso VI es no convexo.

2.6.3 Obtención de un mínimo en programación no lineal.

Como se explica en los puntos anteriores, el objetivo es obtener un punto máximo o mínimo de una función que está sujeta a una serie de restricciones dadas por el conjunto factible S. Si bien es cierto que existen múltiples posibilidades de resolución, en el presente trabajo se realiza un somero resumen sobre la forma general de los métodos iterativos de descenso para resolver problemas de optimización no lineal sin restricciones. Por tanto, partiendo de un punto x^k se irá evaluando y desplazando este punto por el espacio de solución a lo largo de la dirección, d^k .

$$x^{k+1} = x^k + \alpha^k d^k \quad (2-32)$$

donde d^k es una dirección de descenso y α^k garantizan que:

$$f(x^{k+1}) \leq f(x^k) \quad (2-33)$$

Dependiendo de la dirección usada y la forma de elegir la longitud de paso se tienen diferentes métodos de solución. Por tanto, se considerará que se ha encontrado una solución cuando la diferencia entre dos posibles puntos sea del orden de 10^{-8} , o que el gradiente de la función f en x^k sea inferior a 10^{-8} . Pudiendo ser la magnitud tol otra diferente elegida por el usuario y sirviendo esta anterior a modo de referencia.

En el caso de existir restricciones, el procedimiento para resolver problemas de programación no lineal será similar, pero, en este caso se utilizará una función mérito $fm(x)$ que toma en cuenta tanto la reducción de la función objetivo $f(x)$ y garantiza que, las restricciones de igualdad y desigualdad se satisfacen. [22], [23]

3 OBTENCIÓN DE UN MODELO PARA LA GESTIÓN DE STOCKS MULTIPRODUCTO CONSIDERANDO LA VARIABLE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO.

3.1 Identificación del problema.

Como se ha explicado en los capítulos anteriores, el propósito de este trabajo es realizar un modelo matemático en el que se adapte el modelo EOQ tradicional a la gestión de un stock multiproducto. Además, esta gestión se ve limitada por la disponibilidad de espacio, siendo esta un condicionante en la toma de decisiones estratégicas. De esta manera, se pretende obtener un modelo matemático cuyo resultado sea la configuración óptima de cantidad de producto que puede ser almacenada en las instalaciones y de coste total mínimo.

3.1.1 Stock multiproducto.

El modelo EOQ está pensado para un solo producto siendo sencilla la gestión de este. Sin embargo, si se añaden diferentes productos, se debe identificar, categorizar y dar preferencia a un producto frente a otros. Además, la heterogeneidad de stock implica que todas las existencias están condicionadas a la presencia o no de otras. De esta manera, cada producto tendrá asociado:

- Coste de adquisición.
- Coste de mantenimiento.
- Coste de emisión de pedido.
- Volumen unitario.
- Demanda de ese producto en un periodo de tiempo T determinado.
- Desviación estándar, relacionada con la variabilidad de la demanda.
- Nivel de servicio.
- Criterios de clasificación e identificación.

Para gestionar toda esta cantidad de datos, minimizando errores y dinamizando la obtención de soluciones, será necesario crear o trabajar con una base de datos en la que se recoja toda esta información.

3.1.2 Limitación de espacio.

Por otro lado, el modelo de Wilson tampoco tiene en cuenta el espacio a la hora de obtener el punto económico de pedido. Esto podría tener implicaciones muy negativas para una empresa ya que el no almacenamiento de los productos en un emplazamiento adecuado podría deteriorarlo y, por tanto, representar solo un gasto. Es por eso por lo que, desde las primeras líneas de este documento, se ha

puesto énfasis en las implicaciones negativas que puede tener un exceso de stock. En este caso, aparecen dos situaciones:

- En primer lugar, que el volumen unitario del producto sea mayor que la capacidad del compartimento.
- La suma de los volúmenes unitarios de cada uno de los productos sea mayor que el volumen total disponible en las instalaciones.

Además, se ha de tener en cuenta que si se considera un stock de seguridad este ya ocupa un volumen fijo del espacio de almacenamiento.

3.1.3 Coste total mínimo.

El modelo EOQ proporciona la cantidad más económica de pedido para un producto. Sin embargo, en este caso además de cumplir con los requisitos anteriores, debe de ser también la solución más barata. Para obtener esta solución no se observa simplemente alcanzar el máximo almacenamiento ocupado, si no que se analiza el coste de mantenimiento y el coste de emisión como requisitos. Por tanto, es importante no usar el porcentaje de aprovechamiento de las instalaciones como factor decisivo para determinar el éxito o no del modelo.

3.1.4 Herramienta en la toma de decisiones estratégicas.

Por último, es necesario que los datos obtenidos ayuden al usuario a tomar las decisiones óptimas para obtener el mayor rédito posible. El modelo sirve para hacer tanto predicciones de pedido, así como modular las instalaciones aumentando o disminuyendo su capacidad. Además, se desea aplicar esta herramienta a buques y así poder hacer análisis de inventarios multiproducto que tome en cuenta el espacio de almacenamiento interno de los buques en cada trayecto de navegación. Ayudando así, en la toma de decisiones estratégicas.

3.2 Especificación matemática y formulación.

Durante esta fase, se presenta de forma matemática como está definido el modelo EOQ. Para ello es necesario definir la función objetivo con las que se construye este modelo y categorizar sus variables. Posteriormente, se deben formular de manera matemática las restricciones que se desean imponer, para hallar el espacio de solución de este problema. Una vez se tiene la función objetivo y el espacio dentro del cual se define la función, se categorizará el modelo matemático a programar.

3.2.1 Función objetivo y variables.

Como se explica en el apartado 2.3 el modelo EOQ se basa en optimizar la función de coste total. El coste total es la suma aritmética de cada uno de los costes de esta manera se tiene:

- i. Coste de adquisición. Es el resultado del producto entre el coste unitario de cada producto por la demanda en un tiempo determinado T. Por tanto, siendo bb el coste de adquisición de un producto y d la demanda en un tiempo total T:

$$\text{Coste de adquisición} = bb * d \quad (3-1)$$

- ii. Coste de emisión. Es lo que le supone a la organización pedir ese producto al proveedor. El coste total de emisión será el coste de emisión de cada pedido k multiplicado por el número de pedidos N o, lo que es lo mismo multiplicado por la demanda total d entre la cantidad económica de pedido x (esta será la incógnita del problema)

$$\text{Coste de emisión} = k * \left(\frac{d}{x}\right) \quad (3-2)$$

- iii. Coste de mantenimiento. Es el precio que hay que pagar por tener stock en las propias instalaciones. En este caso, viene definido por la variable c que es el coste de mantener una unidad de un producto multiplicado por el nivel de stock en un año. Este coste es realmente un porcentaje del coste de adquisición y por tanto irá multiplicado por este. Por simplificación, y como ya se ha explicado previamente se tomará el nivel de stock medio $\frac{x}{2}$ más el stock de seguridad S_s . Como el objetivo de este modelo es que sea lo más polivalente posible, el coste de mantenimiento irá multiplicado por el tiempo en años sobre el que se realiza el análisis, t_{anual} . Siendo t_{anual} , la proporción en años del tiempo transcurrido T . De esta manera:

$$\text{Coste mantenimiento} = c * t_{\text{anual}} * bb * \left(\frac{x}{2} + S_s\right) \quad (3-3)$$

- iv. Coste de oportunidad. Por último, con el objetivo de diferenciar y categorizar diferentes productos se ha añadido el coste de oportunidad. Este representa el coste que supone escoger una opción frente a otra. En este caso, se denota este coste de oportunidad como p y representa un porcentaje anual del precio de adquisición, como en el coste de mantenimiento.

$$\text{Coste de oportunidad} = p * t_{\text{anual}} * bb * \frac{x}{2} \quad (3-4)$$

Por tanto, si se suman todos estos costes se obtiene que el coste total es igual a:

$$\text{Coste total} = bb * d + k * \left(\frac{d}{x}\right) + c * t_{\text{anual}} * bb * \left(\frac{x}{2} + S_s\right) + p * t_{\text{anual}} * bb * \frac{x}{2} \quad (3-5)$$

Como se trata de un problema en el que no solo se tiene un producto si no que son múltiples, también es necesario definir la variable nn que representa el número de productos diferentes que existen. De esta manera para bb, d, k, x, S_s, p, c vectores de R^{nn} , el coste total viene dado por:

$$\begin{aligned} \sum \text{Coste total}_i &= \\ &= \sum bb_i * d_i + k_i * \left(\frac{d_i}{x_i}\right) + c_i * t_{\text{anual}} * bb_i * \left(\frac{x_i}{2} + S_{s_i}\right) + p_i * t_{\text{anual}} * bb_i * \frac{x_i}{2} \end{aligned} \quad (3-6)$$

donde $bb_i, d_i, k_i, x_i, c_i, S_{s_i}$, son las i -ésimas componentes de los vectores bb, d, k, x, c y S_s en R^{nn} . El subíndice i , tiene relación directa o representa al producto i , $i=1, \dots, nn$. La descripción de cada uno de estos vectores está definida en la Tabla 3-1.

Para poder hallar un mínimo de (3-6), es necesario que la función sea continua y derivable.

Por otro lado, aunque con las variables explicadas ya se define la función objetivo, es necesario definir otras variables que están relacionadas con las restricciones de espacio de almacenamiento (ver punto 3.2.2). De esta manera, también es necesario definir el vector v que contiene el volumen unitario que ocupa cada uno de los productos; la variable T que es el tiempo total sobre el que se va a realizar el análisis; la componente i del vector dd, dd_i , también es el cociente entre el cociente entre la demanda total del producto i, d_i , y el periodo de tiempo T ; y, por último, la variable w que es el espacio disponible para almacenamiento que tienen las instalaciones.

$$dd_i = \frac{d_i}{T} \text{ para } i=1, \dots, nn. \quad (3-7)$$

La Tabla 3-1 contiene la descripción de todas las variables recogidas a modo de resumen:

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN
bb	Coste de adquisición.
k	Coste de emisión.
c	Coste anual de mantenimiento en porcentaje.
d	Demanda total.
v	Volumen unitario.
p	Coefficiente de preferencia en porcentaje.
Ss	Stock de seguridad.
T	Tiempo total.
w	Volumen disponible.
dd	Demanda diaria.
nn	Número de incógnitas
t_anual	Proporción en años del tiempo total
tvector	Tiempos entre puertos
n_escalas	Número de escalas

Tabla 3-1 Glosario de variables. [Autoría propia]

3.2.2 Restricciones.

Tal y como se define la función objetivo del problema a resolver en este trabajo, existen una serie de restricciones que condicionan dicho problema. En primer lugar, está la restricción del espacio de almacenamiento. De esta se tiene que el volumen de los objetos pedidos más el que ocupa de por sí el stock de seguridad debe ser igual o inferior a la capacidad máxima de las instalaciones. Por tanto, llevada estas condiciones a las matemáticas, se tiene una restricción lineal de desigualdad o, lo que es lo mismo, una inecuación lineal. Esta inecuación viene definida como:

$$\sum v_i * x_i \leq w \quad (3-8)$$

Además de esta restricción que va intrínseca al título de este trabajo, existen dos restricciones más que reducen el espacio solución. En primer lugar, existe un límite inferior que coincide con la demanda diaria dd , de este modo se asegura tener stock para el día en curso. Esta variable solo podrá tomar valores enteros ya que no será posible pedir algo inferior a la unidad de emisión. Por otro lado, se establece también un límite superior, que se corresponde con la demanda total d . La razón de esta restricción se basa en que no se necesita más de lo que se consume ya que aumentarían los gastos y se ocuparía volumen de forma injustificada. Por otro lado, al existir positividad en las variables y la función ser una suma, todas las soluciones posibles serán positivas. Como se puede observar en la Figura 3-1, remarcado en color rosa, el espacio solución tipo para cada uno de los productos será la región encerrada entre el

límite inferior, el límite superior y la capacidad máxima de almacenaje. Por otro lado, es importante tener en cuenta que las unidades de pedido son indivisibles y que por tanto x deberá tomar valores enteros (destacados en rosa intenso).

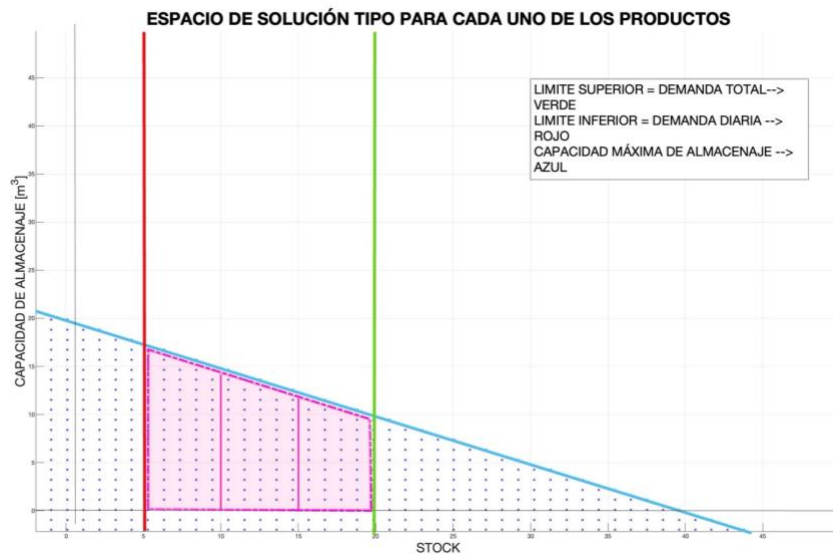


Figura 3-1 Espacio de solución tipo para uno de los productos [Autoría propia]

3.2.3 Clasificación del modelo matemático.

En base a los puntos 3.2.1 y 3.2.2 se obtiene que el modelo tiene la siguiente forma:

$$\begin{array}{l} \text{Modelo (M1)} \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{nn} bb_i * d_i + k_i * \left(\frac{d_i}{x_i} \right) + c_i * bb_i * \left(\frac{x_i}{2} + S_{s_i} \right) + p_i * bb_i * \frac{x_i}{2} \\ \text{Sujeto a:} \\ x \in Z^+ (\text{enteros}) \\ v^T x \leq w \\ dd \leq x \leq d \end{array} \right. \end{array}$$

Por tanto, se puede decir que, el modelo planteado en este trabajo es:

- No lineal. La función a minimizar es no lineal y por tanto hace que este modelo también lo sea.
- Cuantitativo. El modelo permite relacionar y representar los datos mediante el uso de números y símbolos y por tanto es cuantitativo y no cualitativo.
- Estándar. A pesar de que, durante todo el modelo se utilicen alimentos como productos, el modelo matemático es capaz de obtener un punto económico de pedido para cualquier tipología de existencia de stock. La versatilidad de este modelo es lo que hace que no sea un modelo hecho a la medida.
- Determinista. Aunque la demanda y el stock de seguridad se apoyen en la estadística para obtener su valor, la realidad es que en el modelo EOQ se trabaja con los datos existentes y no basa su éxito en la probabilidad, sino que se centra en encontrar aquellos puntos que son críticos y dar resultados exactos.

- De optimización. El objetivo de este modelo es encontrar la configuración que al mínimo coste satisfaga las condiciones impuestas. No se busca la mera descripción si no que su objetivo es encontrar un punto que minimice la función.
- Estático. El modelo EOQ realiza su cálculo asumiendo que la demanda y los costes no varían en el tiempo. Por tanto, si bien es cierto que la variable tiempo existe, el resultado y los datos no dependen de este.
- Simulación. Se pueden realizar simulaciones incorporando datos reales o datos ficticios con el objetivo de analizar el posible resultado.

Además, atendiendo al espacio de solución se tiene que el modelo es restricto con: restricciones lineal de desigualdad; limitaciones inferiores y superiores; convexo; y con variables enteras.

Por otro lado, es necesario definir otras variables que se utilizarán para el supuesto de que exista una navegación. De esta manera, el tiempo entre pedidos estará fijado por la duración de cada tránsito. De esta manera, se tendrá, por un lado, el número de escalas $n_{escalas}$ y; por otro lado, el vector con la duración, en días, entre un puerto y otro, $tvector$. Sobre el modelo matemático para navegaciones se volverá en el apartado 3.3.

3.3 Resolución.

Para la resolución de este problema se utilizarán los programas *MATLAB* y *Microsoft Excel*. El primero será el encargado de procesar las funciones y hallar el punto crítico que satisfaga las restricciones. En cambio, se usará *Microsoft Excel* como gestor de la base de datos, realizar la clasificación previa de los productos, servir de interfaz más sencilla para el usuario y, volcar los resultados obtenidos.

El programa *MATLAB* proporciona al usuario la capacidad de programación y cálculo numérico enfocado en la rama de arquitectura e ingeniería con el objetivo de realizar análisis de datos, desarrollar algoritmos o modelar. Mediante un entorno de escritorio perfeccionado, el programa es perfecto para análisis iterativo y procesos de diseño pudiendo expresar matrices y vectores de forma directa. [24]

Excel, es el software referente en hojas de cálculo y una herramienta avanzada de manejo de datos. Esta herramienta obtiene, de una manera muy eficaz, información relevante de una gran cantidad de datos. Tiene capacidad de realizar cálculos sencillos permitiendo introducir números, letras y fórmulas para que, posteriormente, sean filtrados, ordenados, sumados, etc. [25], [26]

3.3.1 Datos

El modelo EOQ y el Modelo (M1) son válidos para cualquier tipo de producto. Sin embargo, con el objetivo de tener datos para evaluar el funcionamiento, se decidió utilizar datos proporcionados por el servicio de aprovisionamiento (SEA) de la Escuela Naval Militar, ENM. De esta manera se han escogido cuarenta tipos de alimentos como datos iniciales.

Cada uno de estos productos lleva asociado una serie de datos que son:

- Número identificativo: para gestionar un gran número de stock o donde los productos tienen nombres similares, es recomendable añadirle un número de referencia a cada producto.
- Demanda: es la demanda esperada total.
- Tipo de producto: es la primera forma de categorizar y filtrar productos. En este caso, ya que se han realizado las simulaciones con alimentos, se ha diferenciado entre secos S , fríos F y congelados C .
- Uso: dentro de la clasificación ABC. A pesar, de que el modelo EOQ solo es recomendable para productos A, en el Modelo (M1) se intenta que sea más versátil e incorpore todos los

tipos de productos. En este caso, con el fin de adaptarlo al modelo se han categorizado como A aquellos productos que se consumen muchas veces en el menú semanal; como B los que solo aparecen en una o dos comidas semanales; y como C los que rara vez forman parte de la dieta de los militares.

- Valor monetario: el presupuesto es limitado y por tanto una forma de clasificar un producto y filtrarlo es clasificándolo en si el producto es caro, de precio moderado o barato.
- Fiabilidad de stock: entre alta, media y baja se diferencia a los productos en función de si la fiabilidad con la que el proveedor me suministra los productos en tiempo y forma es de una forma u otra. En el modelo desarrollado, no se valora la falta de existencias por parte de la organización ya que se asume que no es posible una rotura de stock.
- Disponibilidad: de esta manera se clasifican los productos en función de si está disponible en el mercado, es decir, si existen diferentes proveedores o se trata de un monopolio. Además de la cercanía geográfica a los proveedores.
- Coste de adquisición, mantenimiento y emisión: estos tres datos son fundamentales, ya que en ellos se basa el modelo EOQ.
- Tamaño unitario: se trata del tamaño unitario de cada producto en las unidades que se realice el pedido. Es decir, no es el tamaño de una unidad sino el tamaño del lote irreducible que se recibe por parte del proveedor.
- Nivel de servicio: es el nivel de servicio mínimo que cada producto debe asegurar.
- Desviación típica: este valor representa como varía la demanda. Si se tuviese un histórico de los consumos, en este caso de los alimentos, se podría añadir teniendo una base de datos y analizándola.

Como se observa, existen más datos que variables definidas en el modelo EOQ. Esto es debido a que el tipo de producto, el uso, el valor monetario, la fiabilidad de stock y la disponibilidad; se agrupan mediante el uso de coeficientes en un solo valor numérico definido como preferencia p . Esta preferencia se considera como un porcentaje anual.

TABLA AUXILIAR					
TIPO DE PRODUCTO	S	F	C	D	NO ALIMENTO
VALOR	0,33	0,66	0,75	0,33	0,00
USO	A	B	C	N/S	
VALOR	0,25	0,45	0,85	0,00	
VALOR MONETARIO	CARO	MODERADO	BARATO	0	
VALOR	0,33	0,66	0,90	0,00	
FIABILIDAD DE STOCK	BAJA	MEDIA	ALTA	N/S	
VALOR	0,20	0,50	0,90	0,00	
DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO	ALTA	MEDIA	BAJA	N/S	
VALOR	0,60	0,50	0,15	0,00	

Figura 3-2 Tabla de clasificación de productos (capturada del archivo Excel.)

Los coeficientes definidos en la Figura 3-2 permiten penalizar a unos productos frente a otros. Por tanto, a la hora de tener en almacén un producto se prefiere uno que sea seco, esencial, que sea caro, que la fiabilidad de stock sea baja y que sea muy exclusivo. De esta manera el valor p vendrá dado por la media aritmética de cada uno de estos criterios.

3.3.2 Función $func_eoq$.

Lo primero a realizar para obtener una solución válida es programar la fórmula de la *cantidad óptima de pedido* de forma que, MATLAB sea capaz de realizar los cálculos necesarios. La forma en la que se ha hecho es, crear una función en el programa llamada $func_eoq$. Para ello primero se define a la función mediante el comando $function f = func_eoq(x, bb, Ss, d, c, k, p, nn, t_anual)$. Con este comando lo que se está haciendo es crear una función llamada $func_eoq$, que depende de las variables $x, bb, Ss, d, c, k, p, nn$ y t_anual , las cuales aparecen como variables de entrada de la función.

Para poder incluir diferentes productos en la misma fórmula se crea un bucle en el que por cada producto que se introduce se suma ese nuevo coste total a la función f , comenzando con un valor de f igual a cero. La Figura 3-3 muestra el diagrama de flujo para la evaluación de la función.

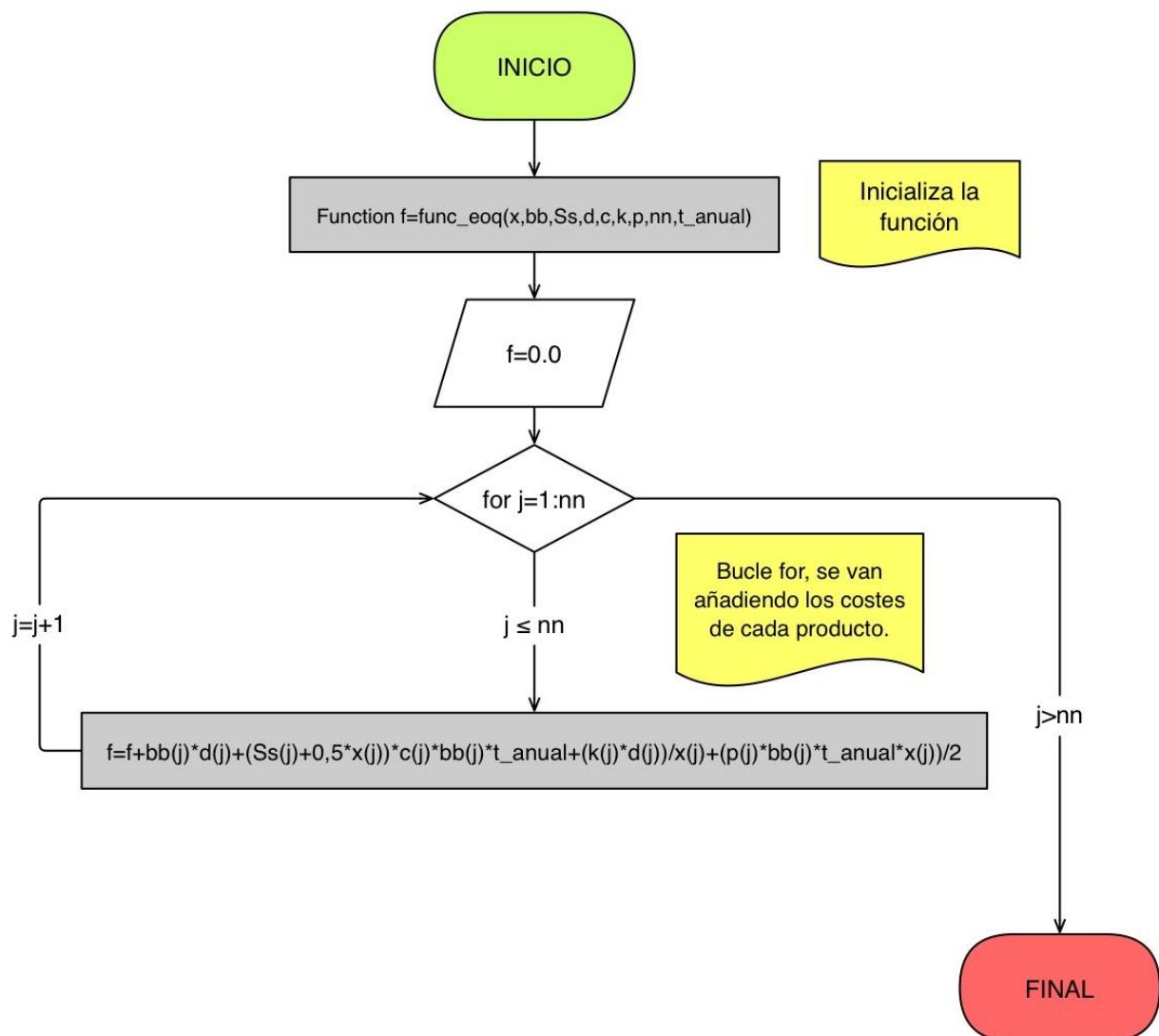


Figura 3-3 Diagrama de flujo función *func_eoq* [Autoría propia]

3.3.3 Función *fmincon*

La función *fmincon* es una función desarrollada por MATLAB y tiene como propósito encontrar el mínimo del valor escalar de una función no lineal, multivariable y restringida. Por tanto, es la función adecuada para la solución del Modelo (M1). La función *fmincon* necesita de una función objetivo en la que implementar acciones y encontrar su punto crítico. En este caso, la función a minimizar se denota por *func_eoq*.

Existe una sintaxis específica para *fmincon* pudiendo esta variar en función de las restricciones que se tengan. Para la resolución del Modelo (M1), la sintaxis correcta es la siguiente:

$[x, fval, exitflag, output] = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$ donde la parte a la izquierda del igual son los valores de salida, $x0$ es el vector inicial dado por el usuario, $Ax \leq b$ contienen las restricciones lineales de desigualdad. Análogamente $Aeq*x=beq$ representa las restricciones de igualdad

lineal. Por último, lb y lu, representan los límites inferiores y superiores respectivamente que la variable x puede tomar. [27]

Respecto a los valores de salida, la función *fmincon* devuelve el valor de x, pero además puede mostrar una serie de parámetros de control que se colocan entre corchetes al lado izquierdo de la llamada a la función *fmincon* como, por ejemplo:

Existflag explica la razón por la que se ha detenido *fmincon*, este parámetro solo puede tomar valores enteros. De esta manera si:

- *Exitflag* > 0: indica que la función f(x) converge en la solución x.
- *Existflag* = 0: indica que se ha alcanzado el número máximo de iteraciones.
- *Exitflag* < 0: indica que la función f(x) no converge a una solución.

Por otro lado, *output* da información sobre la optimización que se ha llevado a cabo. Los diferentes datos que devuelve son:

- *Iterations*: número de iteraciones llevadas a cabo por *fmincon*.
- *FuncCount*: número de veces que la función ha sido evaluada.
- *Constrviolation*: indica cuántas restricciones han sido vulneradas.
- *Stepsize*: El tamaño del paso tomado en el método iterativo.
- *Algorithm*: algoritmo usado por *fmincon*.
- *Firstorderopt*: media de optimalidad de las condiciones de primer orden.

3.3.4 Algoritmo Optimizador.

Una vez creada la función *func_eoq* y sabiendo que el Modelo (M1) tiene la estructura de los problemas que *fmincon* puede resolver, el siguiente paso es integrarlo en un código donde se introducen las variables y datos, se definen los límites y restricciones del problema, se llama a la función *fmincon*, la cual se encarga de evaluar la función objetivo y encuentra el resultado óptimo.

Este código es el que el usuario debe compilar para obtener la cantidad económica del producto. De esta manera, el objetivo de este código u optimizador es que un usuario, aunque no esté familiarizado con el programa *MATLAB*, sea capaz de introducir nuevos datos, modificar parámetros, realizar simulaciones y obtener resultados de una forma sencilla. Es por ello, que el algoritmo comienza tomando datos de un archivo *.xls*, extensión de los archivos propios de *Microsoft Excel*; y termina volcando los resultados en este mismo archivo.

Por tanto, en primer lugar, además de borrar las variables ya existentes y definir el formato de los números, se presenta el archivo *.xls* del cuál se van a extraer los datos y se inicializan como variables. En este código se ha decidido llamarlo *filename*, este será el nombre que se utiliza durante el resto del algoritmo para llamar al archivo. Para ello,

Se inicializan los vectores presentados en la Tabla 3-1, con el comando:

```
[xlsread(filename, 'rango de celdas en las que existen datos')].
```

De esta manera, *MATLAB* toma los datos y los guarda en un vector tipo columna. Además del archivo *Excel* se extraen dos datos más, el primero es el valor de *navegación* y, el segundo, el valor de *redondeo*. Estos últimos son de tipo booleano, es decir si el usuario marca “SI” en la celda de la hoja de cálculo correspondiente, *navegacion* y/o *redondeo* tomarán el valor 1. Si marcasen “NO” entonces *MATLAB* mostrará un 0 para esa variable.

Una vez actualizadas todas las variables que intervienen en el Modelo (M1) se evalúa el espacio de almacenamiento disponible. Es decir, se toma la capacidad máxima y se le resta el espacio que ocupa el stock de seguridad. En este caso, se tendrían dos opciones: por un lado, operar normal; y por otro, hacer

cero el stock de seguridad y obtener un resultado sin tener en cuenta esta variable, pero asegurando el servicio.

Adicionalmente, existe la posibilidad de que, pidiendo la demanda diaria de todos los productos, se sature el almacenamiento. Es por ello por lo que el código también recoge otra condición más para buscar la máxima automatización. De esta manera, se evalúa si el producto de la demanda diaria por el volumen unitario de cada producto es mayor que el espacio disponible. Así, existen cuatro posibilidades diferentes:

- i. El espacio disponible sea positivo y se pueda satisfacer la demanda diaria. En este caso, se opera directamente y se halla la cantidad económica de pedido.
- ii. El espacio disponible es negativo pero el volumen ocupado por la demanda es inferior a la capacidad máxima de almacenamiento. En este caso, no se tiene en cuenta el stock de seguridad y se calcula el tamaño de lote óptimo.
- iii. Si el espacio disponible es positivo pero la demanda diaria no entra dentro de ese volumen. En esta casuística, se tendrían que hacer varios pedidos en un día. En este caso, la solución no se adapta a las necesidades del usuario.
- iv. Si el espacio disponible es negativo y el volumen de la demanda diaria no entra dentro de las instalaciones. Por tanto, no se obtiene ninguna opción válida, siendo las únicas soluciones prescindir de algún producto o, buscar una zona de almacenaje con mayor volumen.

El algoritmo en *MATLAB* en base a todos los datos obtenidos y mediante el uso de operadores *if* opera según la situación deseada por el usuario. Por tanto, existen las siguientes posibles situaciones o soluciones:

- Es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.
- Es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.
- Es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.
- Es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.
- Es una navegación y no entra la demanda diaria. En este caso da igual si se redondea o se trunca ya que no se puede satisfacer la demanda y por tanto la solución no será válida. El programa devolverá un mensaje de aviso: "No es posible satisfacer la demanda diaria. No se puede navegar".
- Es una navegación y no entra la demanda en el periodo de navegación. En este caso da igual si se redondea o se trunca ya que no se puede satisfacer la demanda y por tanto la solución no será válida. El programa devolverá un mensaje de aviso: "Navegación demasiado larga. Acortar tránsitos".
- No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda diaria.
- No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda diaria.
- No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, no se puede satisfacer la demanda diaria, pero entra el stock de seguridad. Además, el usuario ha seleccionado que se mantenga el stock de seguridad.
- No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, no se puede satisfacer la demanda diaria, pero entra el stock de seguridad. Además, el usuario ha seleccionado que se prescinda del stock de seguridad para aumentar el tiempo entre pedidos.

- No es una navegación, no se puede satisfacer la demanda diaria y tampoco entra el stock de seguridad.
- No es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda diaria.
- No es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda diaria.
- No es una navegación, se quiere truncar, no se puede satisfacer la demanda diaria, pero entra el stock de seguridad. Además, el usuario ha seleccionado que se mantenga el stock de seguridad.
- No es una navegación, se quiere truncar, no se puede satisfacer la demanda diaria, pero entra el stock de seguridad. Además, el usuario ha seleccionado que se prescindiera del stock de seguridad para aumentar el tiempo entre pedidos.

El árbol descrito en la Figura 3-4 muestra todos los posibles caminos que el algoritmo propuesto en este trabajo puede utilizar para resolver el Modelo (M1) dependiendo de las condiciones del problema que el usuario quiera considerar. El algoritmo planteado en la Figura 3-4 es robusto, en el sentido que permite soluciones diferentes dependiendo de las condiciones impuestas por el usuario y además detecta posibles problemas a la hora de introducir los datos.

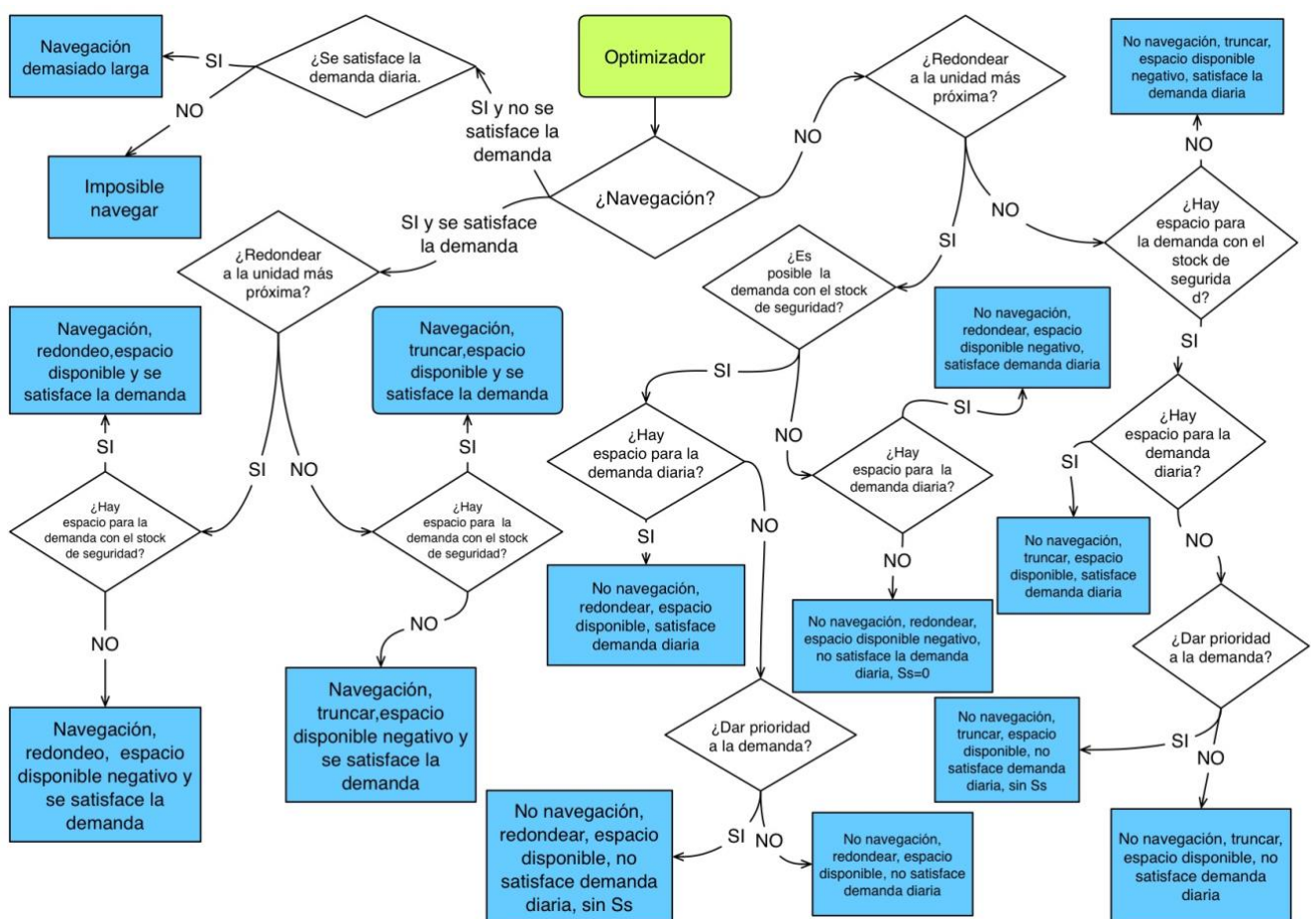


Figura 3-4 Árbol de decisión de Optimizador [Autoría propia]

Para cada una de las casuísticas previas, se definen los límites necesarios para que `fmincon` pueda resolver. Las siguientes restricciones son genéricas para todos los casos, a excepción de los límites tanto inferiores como superiores que pueden variar en función de la situación en la que se encuentre el usuario.

- `x0`: aunque el punto inicial podría ser cualquier punto, con el objetivo de reducir iteraciones sea el mínimo posible y de esta manera reducir tiempos de respuesta, en este caso será la demanda total d .
- `A`: los datos con volúmenes unitarios de cada producto, v . Por lo tanto, $A = v^T$.
- `b`: el otro lado de la inecuación será entonces el volumen disponible. De esta manera, si A es de dimensiones $(1 \times nn)$ y x es de dimensiones $(nn \times 1)$, w tiene dimensiones (1×1) , es decir, es un escalar y $b=w$.
- `Aeq`: como este valor en el modelo no es necesario se representa como una matriz vacía $[]$.
- `beq`: al igual que con `Aeq`, le corresponde una matriz vacía $[]$.
- `ub`: correspondiente al límite superior, en el modelo será la demanda total, esto es $ub=d$. De esta manera, se garantiza que no devuelva cantidades de pedido excesivas e innecesarias.
- `lb`: el límite inferior estará limitado por la demanda diaria, esto es $lb=dd$. Por lo tanto, nunca se podrán observar tiempos de pedido inferiores a un día. Si bien es cierto, que la demanda diaria no es un número entero, se ha redondeado a la unidad superior para asegurar, de este modo, que siempre va a haber stock suficiente. En el caso de simulaciones en tierra, este límite se modifica para dar una solución a pesar de que esta sea inferior a lo que se consume en un día.

Una vez resuelto el problema, se realizan una serie de cálculos para obtener costes, tiempos entre pedidos y número de pedidos.

Posteriormente, se exportan, de la forma adecuada, todos los datos obtenidos al archivo *Excel*.

3.3.5 Archivo Excel

Para hacer la gestión de los datos, se ha creado un libro con diferentes hojas. De esta manera, el usuario podrá realizar todas las gestiones necesarias en una interfaz más familiar y correr simplemente el programa optimizador en *MATLAB*. Además, el uso de una base de datos de este tipo permite filtrar, ordenar y modificar los productos con gran facilidad. De igual manera, también es sencillo seleccionar diferente información organizativa.

El libro se organiza en cinco hojas principales: datos a sacar, datos obtenidos, presentación, datos generales y productos_alimentos. Las dos primeras, se utilizan para facilitar la lectura y volcado de datos por el programa. De esta manera, aunque se modifiquen las hojas principales no hace falta modificar las celdas que están en relación con *MATLAB*. La hoja datos obtenidos debe ser borrada antes de realizar otra simulación.

La hoja presentación es donde el usuario puede seleccionar los productos que desea pedir. Para evitar la duplicidad de productos, se ha hecho una lista desplegable que toma los datos de la hoja productos_alimentos. En esta hoja, además también se presentan los resultados. Es por ello, que esta es la hoja fundamental del modelo.

La hoja datos generales, se debe cumplimentar antes de realizar la simulación. En ella, se escoge la fecha de inicio, la fecha de fin, y si se han de tener en cuenta los festivos. Además, se ha de escoger, si las instalaciones son un buque o un almacén. En la misma hoja, aparecen dos tablas auxiliares para indicar las dimensiones tanto los compartimentos como de los expositores.

En la Figura 3-5 y en la Figura 3-6 se muestran sendas tablas para definir la capacidad de almacenamiento. Como se puede observar en la Figura 3-5 además de la eslora, manga y calado; la permeabilidad del compartimento delimita el volumen disponible del mismo.

BUQUE						
Nº DE COMPARTIMENTO	DATOS DEL COMPARTIMENTO				DATOS FINALES	
	K --> fondo	Manga (b)	Eslota (l)	Permeabilidad(μ)	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
EJEMPLO_BUQUE	3	4	5	1	60	60

Figura 3-5 Tabla dimensiones de compartimento. (Capturada de archivo Excel)

ALMACÉN						
TIPO DE EXPOSITOR	DATOS DEL LINEAL				DATOS FINALES	
	LARGO	ANCHO	ALTO	Nº DE EXPOSITORES	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
EJEMPLO_ALMACÉN	2	5	1	1	10	10

Figura 3-6 Tabla dimensiones del lineal. (Capturada de archivo Excel)

La hoja de productos_alimentos recoge todos los productos que se tienen disponibles para pedir. Esta será la que se ha de editar si se desea modificar, retirar o añadir cualquier información o dato.

3.4 Problemas encontrados.

3.4.1 Imposibilidad de cumplimiento de las restricciones.

A parte de los problemas explicados en el punto 3.3.4, existen diferentes problemas que el algoritmo de *MATLAB* que no es capaz de solucionar y por tanto infringe alguna restricción para dar una solución válida. De este modo, el principal problema es si el volumen ocupado por un producto es mayor que el almacenamiento. En este caso, en la hoja de presentación muestra un aviso al lado del producto con lo siguiente: "¡ATENCIÓN! Este producto no entra dentro de las instalaciones.", como se puede ver en la Figura 3-7. Por otro lado, el otro problema es que la suma de los volúmenes unitarios sea superior al espacio de almacenamiento. En este caso en un cuadrado a la derecha de la tabla presentación (ver Figura 3-8) aparece el siguiente mensaje de alerta en rojo: "NO SE PUEDE REALIZAR ANÁLISIS, EL ESPACIO MÍNIMO OCUPADO POR ESTOS PRODUCTOS ES SUPERIOR A LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES. POR FAVOR, ELIMINE ALGÚN PRODUCTO."

Estos dos mensajes tienen como objetivo prevenir errores en el script o datos erróneos en la simulación.

TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,77	0,77	0,74	1,00	1	
0,44	0,67	0,44	2,00	1	
0,10	0,90	1,28	1,00	2	
0,48	0,99	2,28	12,00	28	
71,50	0,87	1,13	1,00	2	¡ATENCIÓN! Este producto no entra dentro de las instalaciones.

Figura 3-7 Mensaje de alerta. Volumen unitario mayor que capacidad máxima. (Capturada de archivo Excel)

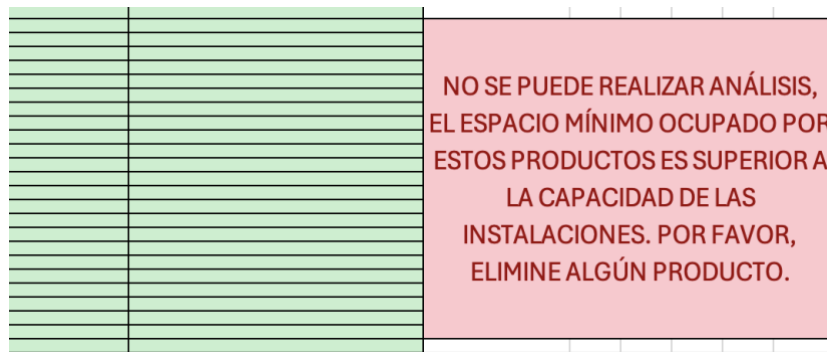


Figura 3-8 Mensaje de alerta. Suma de volúmenes unitarios mayor que capacidad máxima. (Capturada de archivo Excel)

3.4.2 Redondeo de los resultados.

Si bien la función *fmincon* es la adecuada para este tipo de problemas, tiene ciertas limitaciones a tener en cuenta. La principal es que la función *fmincon* no maneja variables enteras. En la gestión de existencias, se considera que las unidades de pedido son indivisibles y por tanto los resultados deben ser números enteros. Es por ello por lo que, después de haber obtenido una solución real es necesario redondear esta. Este redondeo es la fuente de la problemática ya que, en ocasiones, el programa devuelve ocupaciones de almacenamiento muy próximas a la capacidad máxima y, al redondear se supera la capacidad máxima de almacenamiento. Realizando diferentes análisis se observa que, si bien existen ocasiones en las que esa aproximación se supera esa limitación de volumen, en productos de dimensiones reducidas está es insignificante ya que supone dejar fuera del almacenamiento una caja de dimensiones inferiores a 70cm x 70cm x 70cm.

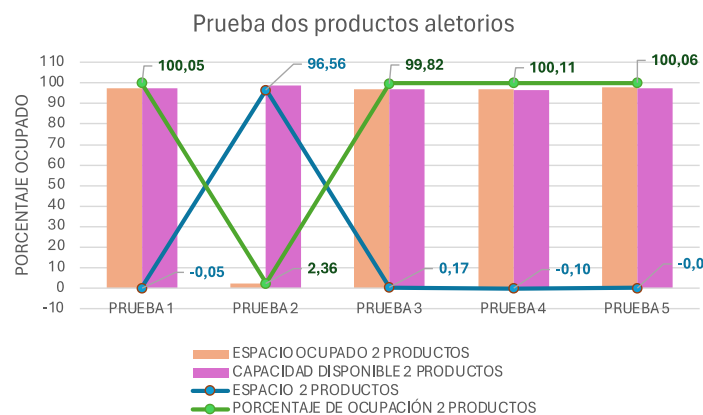


Figura 3-9 Análisis de cómo afecta el redondeo. 2 productos [Autoría propia]

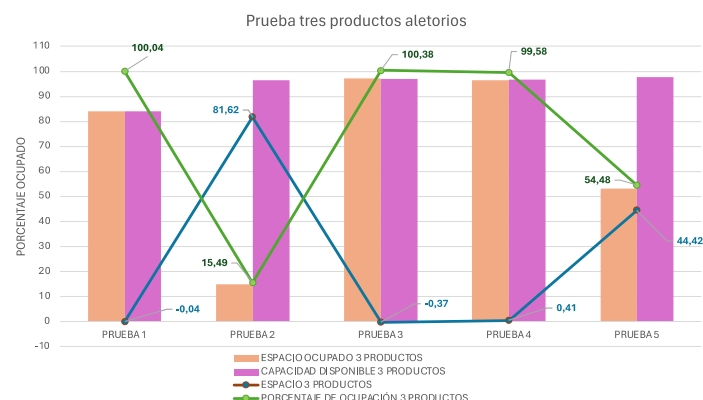


Figura 3-10 Análisis de cómo afecta el redondeo. 3 productos [Autoría propia]

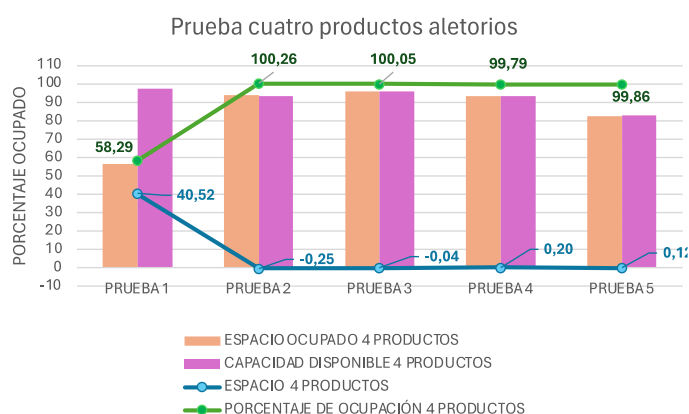


Figura 3-11 Análisis de cómo afecta el redondeo. 4 productos [Autoría propia]

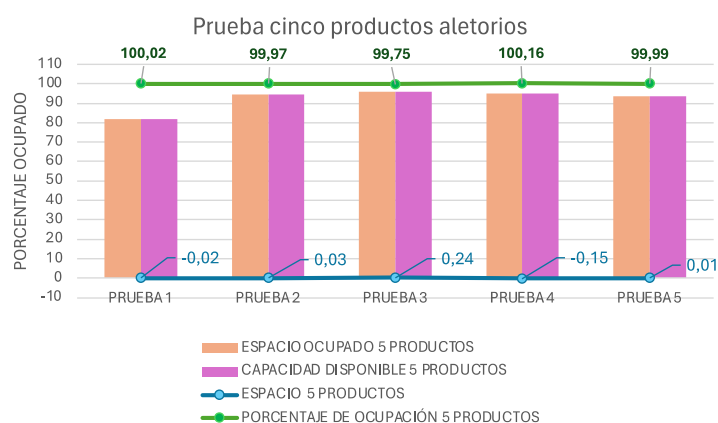


Figura 3-12 Análisis de cómo afecta el redondeo. 5 productos [Autoría propia]

En base a las Figura 3-9, Figura 3-10, Figura 3-11 y Figura 3-12 que corresponden al análisis del error que se comete al aproximar a la unidad más cercana, se observa que, con distintas configuraciones de productos aleatorios de un tamaño inferior al metro cuadrado, el error es mínimo.

Por el contrario, a medida que se incluyen productos más voluminosos ese error aumenta en igual proporción que aumentan los volúmenes de los productos. Es por ello por lo que, para existencias grandes, lo más beneficioso es redondear a la unidad inferior.

Además, si se tiene en cuenta que la demanda es constante, las existencias saldrían del lugar de almacenamiento de forma constante y por tanto nunca se completaría ese volumen máximo de almacenaje. Como este modelo, es un modelo estándar, se ha decidido dejar al usuario que sea el mismo

el que decida qué tipo de aproximación prefiere; o realizar simulaciones de ambas formas y valorar cual es mejor para su situación.

3.4.3 Múltiples puertos, diferentes límites.

Cuando se desea hacer simulaciones teniendo en cuenta una navegación y las diferentes escalas, el problema cambia sustancialmente. En primer lugar, se tendrán más variables. Además de las necesarias en *func_eoq*, se deben añadir los tiempos mínimos entre pedidos o, lo que es lo mismo, la distancia entre puertos. Por otro lado, se debe conocer el número de escalas que realiza el buque. Este valor es fundamental, ya que es igual al número de problemas de optimización a resolver, uno para cada tránsito de navegación.

A parte de lo anterior, hay que tener en cuenta que la función *fmincon* podría devolver una solución en la que el programa sugiriese hacer un pedido en un tiempo inferior a la duración del tránsito. Esto tendría fácil solución si el tiempo en la mar fuese siempre el mismo; sin embargo, este varía y por tanto la demanda durante cada tránsito también. Partiendo de la asunción de que la demanda diaria permanece constante, se construye el vector columna *tvector*, en el que se recogen las demandas en cada tránsito. De esta manera el límite inferior, es la demanda por cada uno de los tránsitos en los que se encuentra la simulación. Además, con el objetivo de evitar desperdicios, se podría dar que el programa devolviese que lo óptimo es pedir la demanda total, provocando un exceso de stock o incluso una saturación del almacenamiento. De esta manera, es necesario reducir el límite superior a medida que se van pidiendo productos.

La forma de obtener la solución del problema en el caso de navegación con múltiples tránsitos es el siguiente:

- i. Crear una matriz de ceros, *solución*, de dimensiones igual a número de productos por número de escalas ($nn \times n_escalas$); un vector columna de ceros con tantas filas como productos haya, *pedido_ya* y; otro vector de las mismas dimensiones, que se denota como *extra*. De esta manera, mediante un bucle *for* que se explica en los siguientes pasos, cada columna de la matriz solución almacena las cantidades optimas de cada producto para cada una de las escalas. En *pedido_ya*, se acumula lo que se pide en cada una de las escalas. Por último, en *extra*, se contabiliza la diferencia entre lo que se ha pedido en una determinada escala y la demanda esperada durante ese tránsito.

$$solucion = \begin{pmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,n_escalas} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{nn,1} & \cdots & x_{nn,n_escalas} \end{pmatrix} \quad (3-9)$$

$$pedido_ya = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{nn} \end{pmatrix} \quad (3-10)$$

$$extra = \begin{pmatrix} x_{1,n_escala(j)} \\ \vdots \\ x_{nn,n_escala(j)} \end{pmatrix} \quad (3-11)$$

- ii. Crear un bucle *for* desde 1 hasta el número de escalas, donde se resuelve el Modelo (M1) para cada trayecto, donde las cotas superiores e inferiores son diferentes en cada trayecto y se calculan de la siguiente forma:

$$ub = d - pedido_ya \quad (3-12)$$

$$lb = dd * tvector - extra \quad (3-13)$$

Así, como mucho, se podrá pedir la demanda total menos lo que ya se ha pedido, evitando pedir más productos de los necesarios. Por abajo, lo mínimo que se podrá pedir es la demanda durante ese tránsito menos lo que me ha sobrado del anterior. Este bucle tiene dos problemas principales que comprometen la viabilidad del código. En primer lugar, *ub* puede ser inferior a *lb*, por lo tanto, el espacio de solución queda mal definido y, en segundo lugar, *lb* puede tomar valores negativos dando resultados de cantidad de pedido negativos también. Para evitar ambos problemas se consideran nuevas matrices, las cuales se definen en el siguiente punto.

- iii. Crear un bucle *for* desde 1 hasta el número de productos, que verifica (usando el comando *if*) si el límite superior de algún producto es inferior al valor absoluto del límite inferior de ese mismo producto. En ese caso, *lb* será igual a *ub* y, *ub* será igual a *ub* más 10^{-4} . La razón de redefinir *ub* como *ub* + 10^{-4} es para evitar que *lb* y *ub* sean iguales, debido a que *fmincon* no permite que *ub* y *lb* sean coincidentes.

for i=1:nn

if *ub*(i)<*abs*(*lb*(i))

lb(i)=*ub*(i);

ub(i)=*ub*(i)+ 10^{-4} ;

end

end

- iv. Se ejecuta la función *fmincon*.
v. Una vez se ha obtenido una solución, está se almacena en la matriz *solucion*, el resultado se suma a *pedido_ya* y el resultado se resta a la demanda durante ese periodo para obtener el vector *extra*.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Funcionamiento del modelo.

4.1.1 Funcionamiento del modelo.

Durante esta etapa, se ha comprobado que el código se ejecuta sin problemas. De esta manera, se han simulado quince situaciones diferentes modificando los datos generales o las características de los productos. Cada uno de estos casos corresponde a un tipo de posible solución descritos en el apartado 3.3.4.

Debido a la necesidad de mostrar capturas del archivo Excel, y las dimensiones de estas, se han recogido todas en el Anexo IV. En este, se muestran por cada caso, las condiciones iniciales de cada una de las situaciones (capturas de pantalla del archivo Excel de la hoja “DATOS GENERALES”); luego las características del pedido (capturas de pantalla del archivo Excel de la hoja “PRESENTACIÓN”); y por último los resultados obtenidos una vez compilado el algoritmo (capturas de pantalla del archivo Excel de la hoja “PRESENTACIÓN”). No se muestran imágenes del programa *MATLAB* ya que el algoritmo exporta los resultados directamente sobre la hoja de cálculo.

4.1.2 Análisis de influencia de cada uno de los costes.

El *modelo EOQ* deriva la función coste total para obtener la cantidad económica de pedido, durante esta fase se ha evaluado cada uno de los costes, simulando como cada coste afecta al stock a pedir si este fuese el único coste, y de esa forma ver que tendencia sigue y cuál es su influencia en el resultado.

En primer lugar, se ha comprobado que, siendo el coste de mantenimiento, el coste de emisión y el coste de oportunidad iguales a cero; el coste de adquisición no influye en la cantidad económica de pedido. Para ello, se comparan dos productos con diferentes costes de adquisición. Tal y como se observa en la Tabla 4-1 y en la Figura 4-1, la cantidad económica de pedido sigue siendo la misma a pesar de la variación en el coste de cada producto. En las columnas, que aparece Modelo (M1) se trata de las cantidades económicas de pedido obtenidas usando el dicho algoritmo.

bb_1	bb_2	Relación entre bb_2/bb_1	Modelo (M1) Producto 1	Modelo (M1) Producto 2
150	150	1	50	50
150	300	2	50	50
150	450	3	50	50
150	600	4	50	50
150	750	5	50	50
150	1500	10	50	50
150	2250	15	50	50
150	3000	20	50	50

Tabla 4-1 Análisis comparativo del coste de adquisición. [Autoría propia]

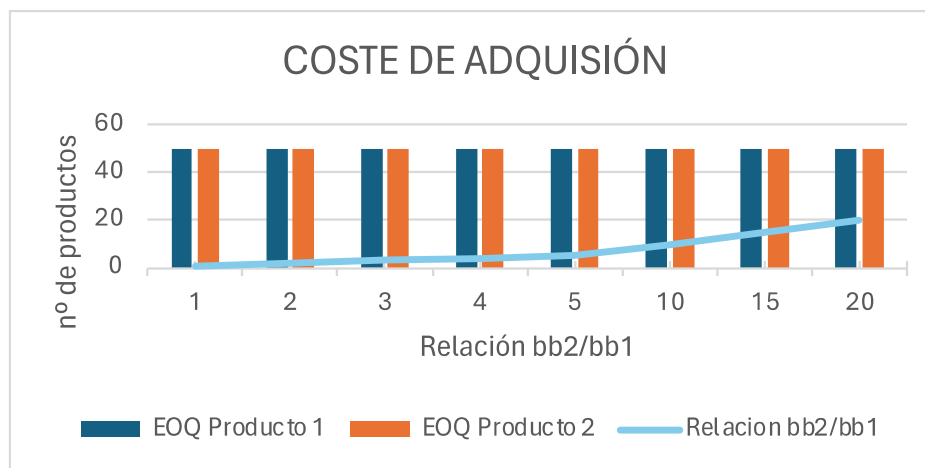


Figura 4-1 Gráfica análisis comparativo del corte de adquisición. [Autoría propia]

En segundo lugar, se compara la influencia del coeficiente de *preferencia* (p). En este caso, si se pusiese coste de emisión igual a cero, el valor del punto económico de pedido no se vería afectado por el coste de oportunidad, ya que lo óptimo sería pedir siempre lo mínimo posible para evitar tener coste de oportunidad elevado, que es dependiente de las existencias pedidas. Tal y cómo aparece en la Tabla 4-2 la preferencia es inversamente proporcional a la cantidad económica de pedido. Esto se debe a que el valor que toma p es uno de los productos del coste de oportunidad, junto con el coste de adquisición y la proporción en años del tiempo transcurrido. Al tratar de hacer mínimo el coste, el Modelo (M1) va a tratar de reducir aquellos con una preferencia mayor. En la Figura 4-2 y Figura 4-3 se presenta la relación de una forma más visual.

PRODUCTO	PREFERENCIA	MODELO (M1)
Espirales 3 sab. 5kg	0,262	49
Aceituna negra (4 latas)	0,41	40
Huevo fresco talla l	0,436	38
Aceite de oliva	0,442	38
Jamón serrano deshuesado	0,454	38
Abadejo fresco	0,48	37
Mantequilla en porciones	0,508	36
Jamón deshuesado cerdo congelado	0,572	33
Yogur bebible fresa y plátano	0,582	33
Filetes de pechugas de pollo congelado	0,86	27

Tabla 4-2Análisis comparativo de la variable preferencias [Autoría propia]

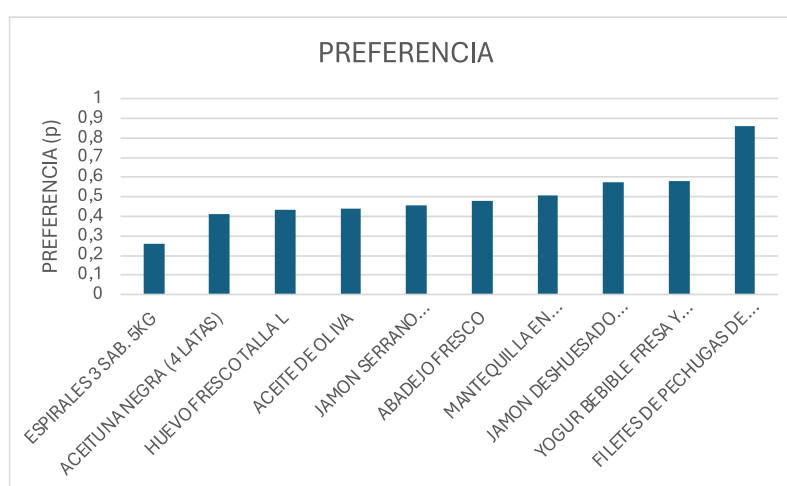


Figura 4-2 Comparativa de preferencias entre diferentes productos [Autoría propia]

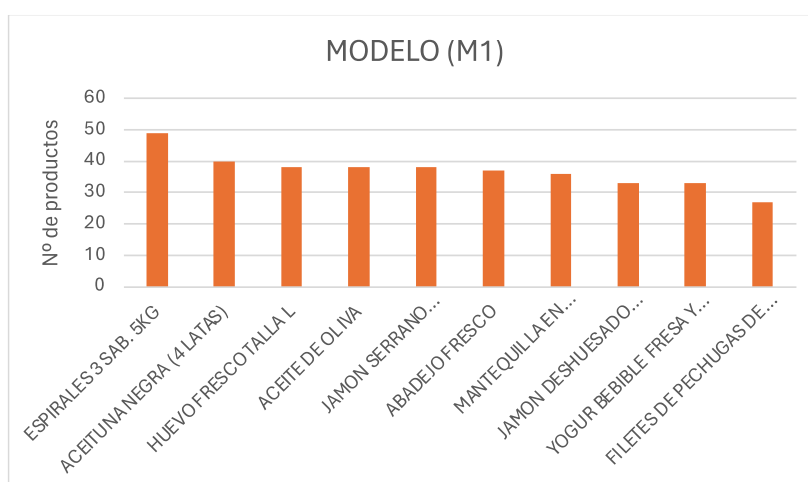


Figura 4-3 Cantidad económica de pedido en base a diferentes preferencias [Autoría propia]

En la Figura 4-4 se observa como al simular dos productos, uno con el mínimo valor de preferencia (Producto 1) y otro con el máximo (Producto 2), el Modelo (M1) va penalizando al producto que tiene mayor preferencia que frente al otro. Es decir, para un producto de mismos costes de adquisición, emisión y almacenamiento, se prioriza el producto con menor coste de oportunidad.

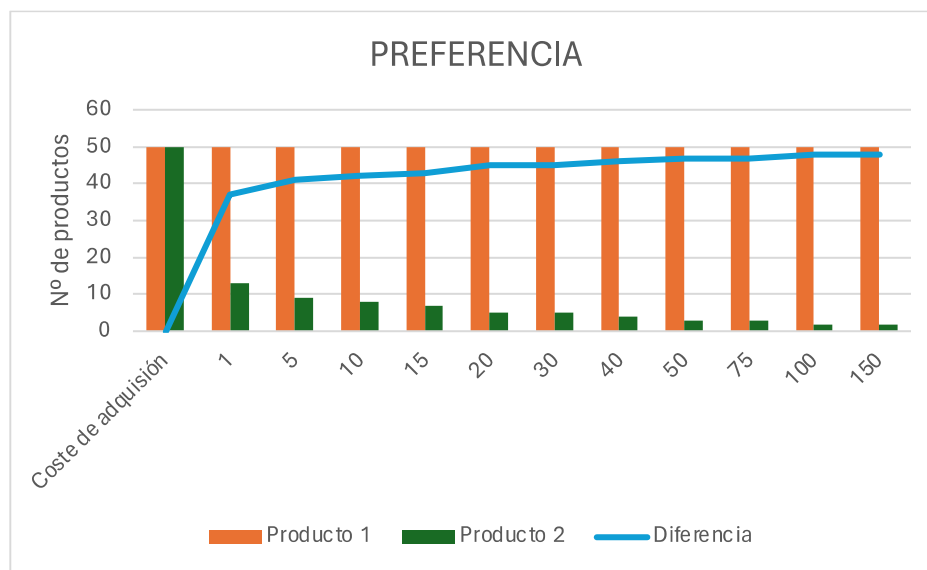


Figura 4-4 Relación entre el coste de adquisición y la preferencia. [Autoría propia]

Por otro lado, se analiza el comportamiento de los costes de emisión y mantenimiento. Primeramente, se analiza cómo se comportan dos productos con costes de mantenimiento opuestos, en este caso 0,1 para el producto 1 y 0,9 para el producto 2. Observando la Figura 4-5 se ve como con diferentes costes de adquisición en un primer momento, se diferencian mucho los productos. En cambio, a medida que aumenta el coste de adquisición, la cantidad de pedido disminuye para ambos reduciendo las diferencias entre los productos.

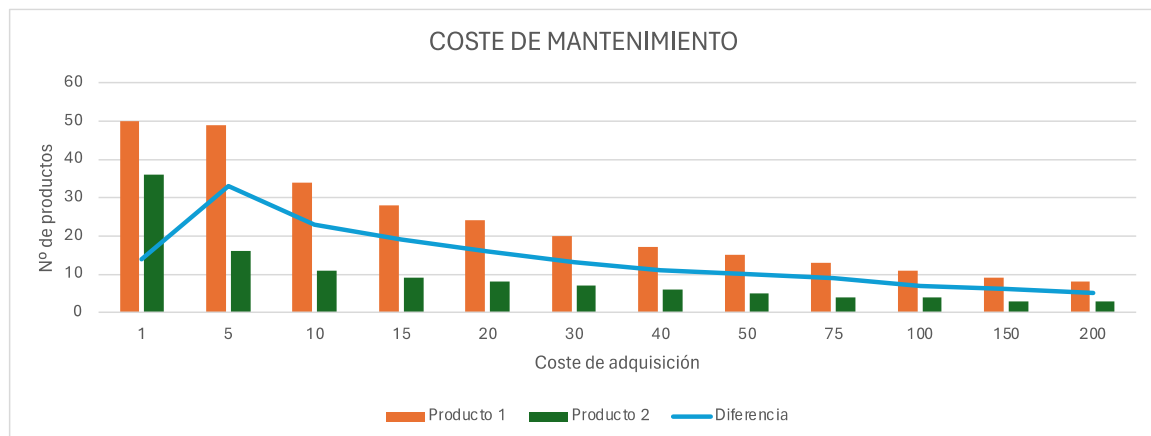


Figura 4-5 Relación entre el coste de adquisición y el coste de mantenimiento. [Autoría propia]

Siguiendo con el análisis de cómo se comporta cada uno de los costes, se han seleccionado 13 productos con las características recogidas en la Tabla 4-3. Estos productos tienen el mismo coste de adquisición y mismas dimensiones. Los diez primeros tienen el mismo coste de emisión y diferentes costes de adquisición. En cambio, los tres últimos tienen mismo coste de almacenamiento, pero distintos costes de emisiones.

Producto	Coste de Adquisición	Coste de Mantenimiento	Coste de Emisión	Modelo (M1)
Espirales 3 sab. 5kg	200,00	1,00	25,00	12
Filetes de pechugas de pollo congelado	200,00	0,90	25,00	13
Jamón deshuesado cerdo congelado	200,00	0,80	25,00	14
Aceite de oliva	200,00	0,70	25,00	15
Jamón serrano deshuesado	200,00	0,60	25,00	16
Yogur bebible fresa y plátano	200,00	0,50	25,00	17
Aceituna negra (4 latas)	200,00	0,40	25,00	19
Abadejo fresco	200,00	0,30	25,00	22
Mantequilla en porciones	200,00	0,20	25,00	27
Huevo fresco talla l	200,00	0,10	25,00	38
Tortilla de patata cong	200,00	1,00	50,00	17
Alcachofa troceada al natural lata 3kg	200,00	1,00	75,00	21
Yogur sabor plátano	200,00	1,00	100,00	24

Tabla 4-3 Datos y resultados de la comparativa entre costes de emisión y costes de mantenimiento. [Autoría propia]

En la Figura 4-6 se muestran las cantidades a pedir óptimas. Si se analizan, teniendo en cuenta la Figura 4-7 y la Figura 4-8, se ve como es inverso la cantidad óptima de pedido a los costes de mantenimiento y directamente relacionado con los costes de emisión.

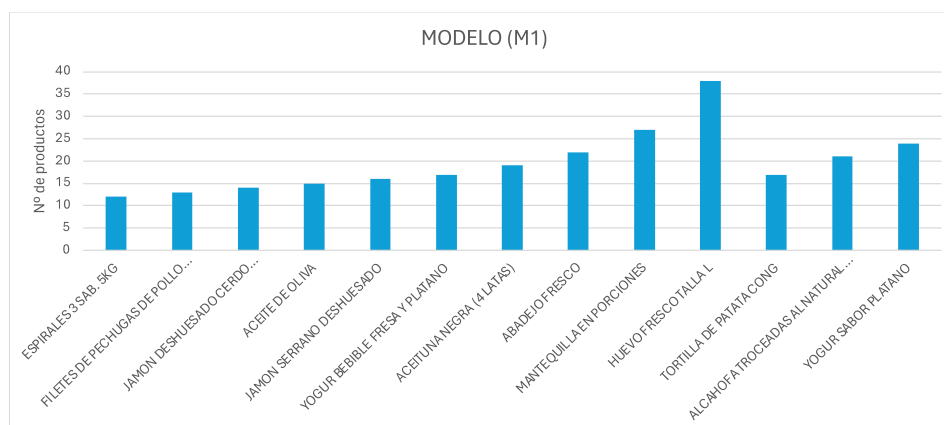


Figura 4-6 Punto económico de pedido. Comparativa entre costes de adquisición y emisión. [Autoría propia]

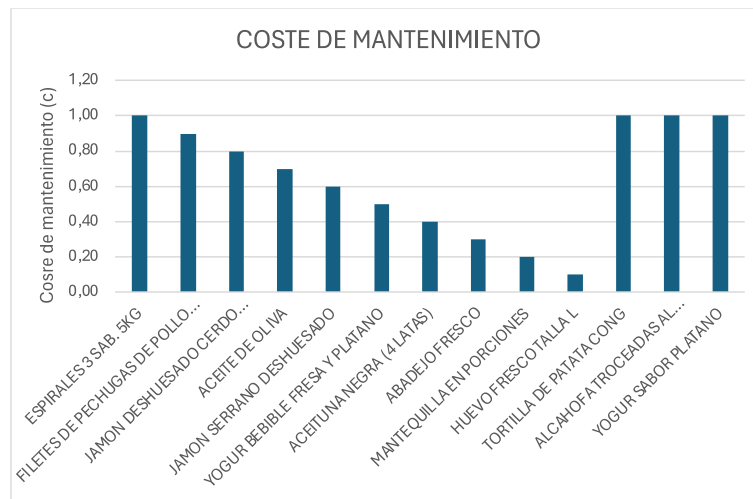


Figura 4-7 Costes de mantenimiento. Comparativa entre costes de mantenimiento y costes de emisión. [Autoría propia]

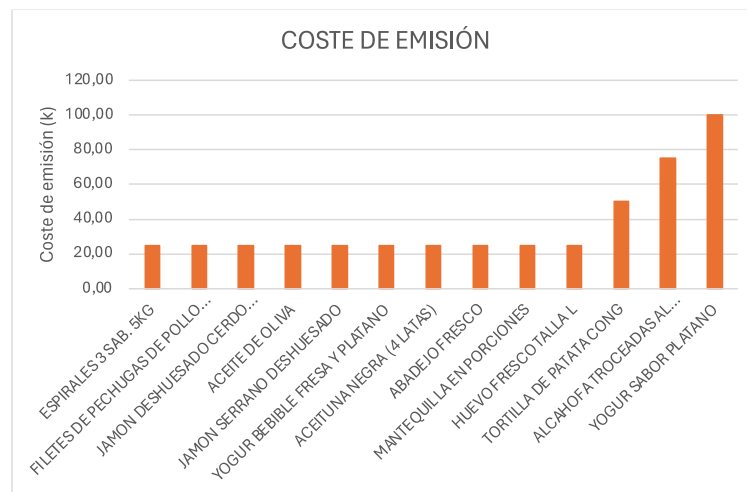


Figura 4-8 Costes de emisión. Comparativa entre costes de mantenimiento y costes de emisión. [Autoría propia]

Para realizar un mejor análisis, y evaluar cuál de los costes es más determinante. Se ha obtenido, la línea de tendencia de cómo afecta variar, por un lado, el coste de mantenimiento y, por el otro, el coste de emisión. De esta manera, en la Figura 4-9 se muestran las dos tendencias. En naranja se observa como la tendencia que siguen las cantidades de pedido sugeridas por el algoritmo cuando se varía el coste de emisión sigue una tendencia lineal. En cambio, en azul, se puede ver cómo es una tendencia cúbica que siguen el stock pedido en función de cómo varía el coste de mantenimiento. Si se graficasen ambas ecuaciones, como se muestra en la Figura 4 10, se puede observar cómo con costes de adquisición bajos el coste emisión es más influyente, pero, a medida que el valor bb vaya aumentando el coste de mantenimiento, es el principal diferenciador.

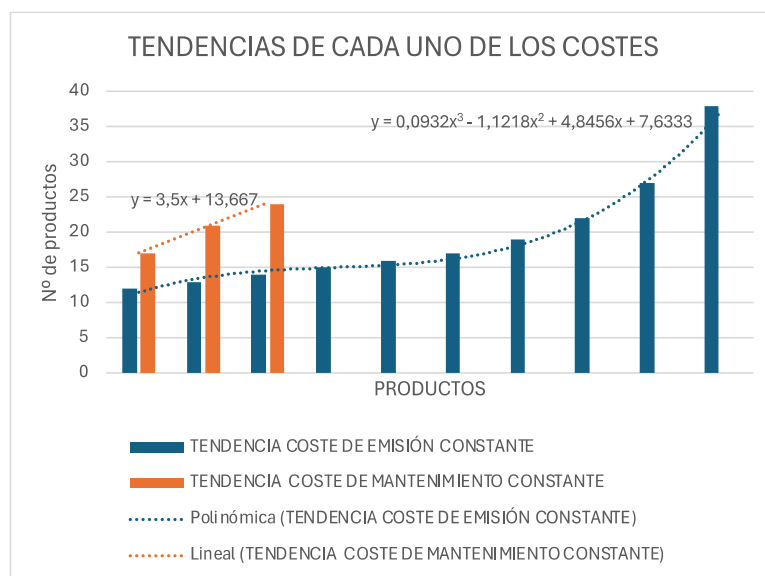


Figura 4-9 Líneas de tendencia. Variación del EOQ respecto al coste de mantenimiento y el coste de emisión. [Autoría propia]

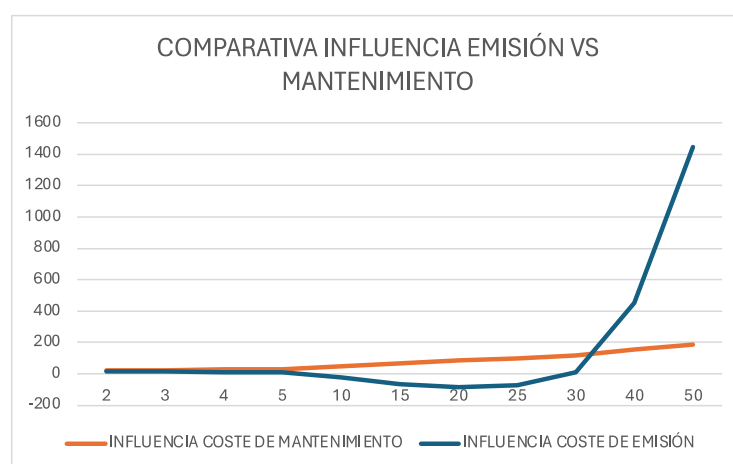


Figura 4-10 Líneas de tendencia del coste de emisión y del coste de mantenimiento. [Autoría propia]

4.2 Comparativa con el funcionamiento tradicional.

Una vez se ha probado el funcionamiento del modelo, es necesario compararlo con otros sistemas de gestión de stock. En este caso, se han comparados los resultados de las simulaciones del Modelo (M1) con el modelo seguido por parte de la Escuela Naval Militar para gestionar el stock. El sistema actual se basa en realizar una estimación de la demanda en la siguiente quincena y realizar el pedido de estos productos. Es decir, la cantidad de pedido es la demanda estimada para los próximos quince días. Además, también se realizó una comparativa entre la capacidad ocupada y de esta forma observar el aprovechamiento del espacio por parte del Modelo (M1).

Aunque exista un gran abanico de situaciones, existen factores determinantes para evaluar si el Modelo (M1) mejora lo existente o no. De esta manera, solo se ha evaluado en caso de que exista navegación o no. Otros condicionantes como la existencia de stock de seguridad o si se aproximan o se truncan los resultados obtenidos, son criterios de personalización, pero no difieren entre sistemas.

Para conocer si el modelo desarrollado es mejor que lo existente, el factor determinante es demostrar que con el Modelo (M1) se ahorra frente a otros modelos.

4.2.1 No navegación.

En este caso, se han realizado simulaciones con uno, cinco, diez y veinte productos aleatorios utilizando, por un lado, el algoritmo desarrollado y por otro, el sistema usado actualmente descrito previamente. Todas las simulaciones se han hecho teniendo en cuenta que el tiempo de simulación es un año.

- Un producto. Para esta comparativa se han seleccionado diez productos diferentes de forma aleatoria y se han simulado uno a uno. Tal y como se puede observar en la Figura 4-11, para un solo producto, el ahorro del modelo desarrollado frente al sistema tradicional no es muy elevado, siendo en ocasiones el coste total el mínimo. A pesar de todo, con el Modelo (M1) se consigue un ahorro medio de 27,41€/año. La comparativa del volumen (Figura 4-12) no aporta datos de interés, ya que, al evaluar solo un producto con pequeñas dimensiones, no se puede hablar de un aprovechamiento real del espacio.

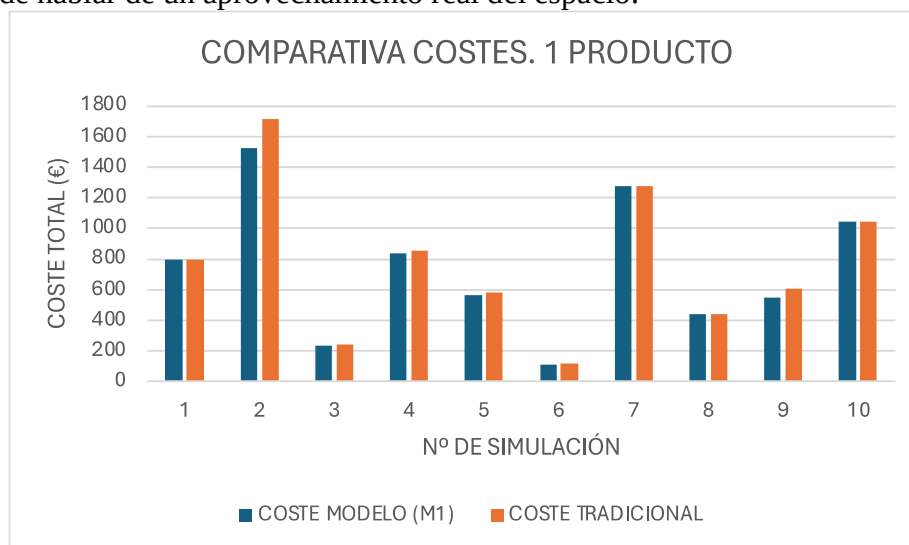


Figura 4-11 Comparativa costes. 1 producto [Autoría propia]

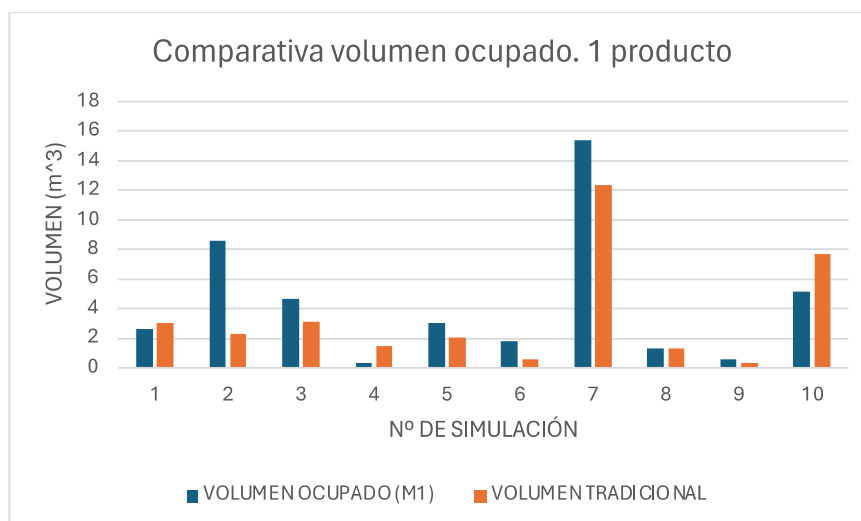


Figura 4-12 Comparativa volumen ocupado. 1 producto [Autoría propia]

- Cinco productos. Se han realizado ocho simulaciones con grupos de cinco productos diferentes. En esta comparativa, Figura 4-13, ya se observa como el modelo desarrollado en este trabajo consigue un claro ahorro frente al sistema tradicional. De esta forma, se consigue un ahorro medio anual de 121,93€. Respecto al volumen ocupado, se puede ver en la Figura 4-14, como la tendencia es que el Modelo (M1) aproveche más el volumen existente para almacenar más stock y reducir costes. Aun así, al ser solo cinco productos, y que los costes de emisión no difieren demasiado de los costes de mantenimiento, todavía existen soluciones donde el volumen ocupado por el sistema tradicional es mayor.

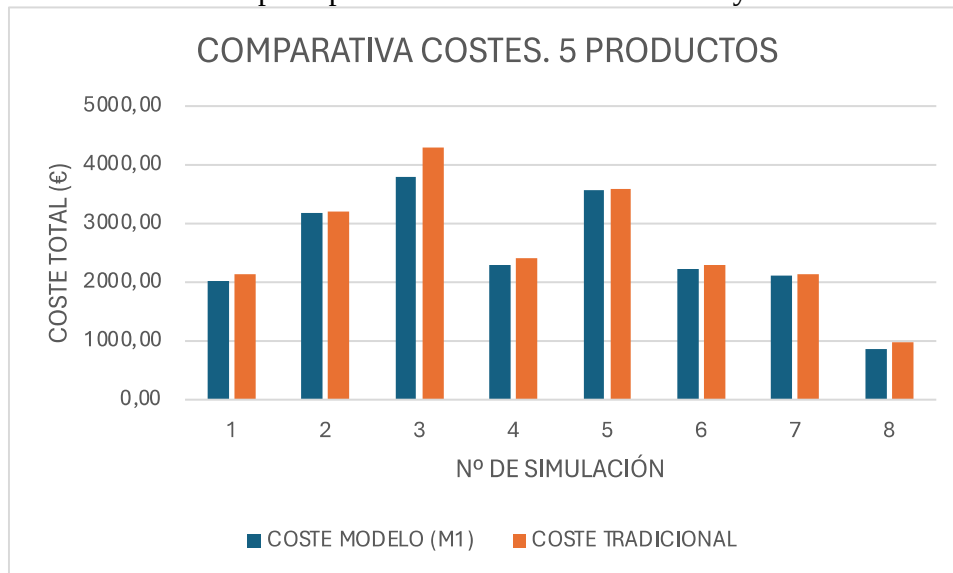


Figura 4-13 Comparativa costes. 5 productos. [Autoría propia]

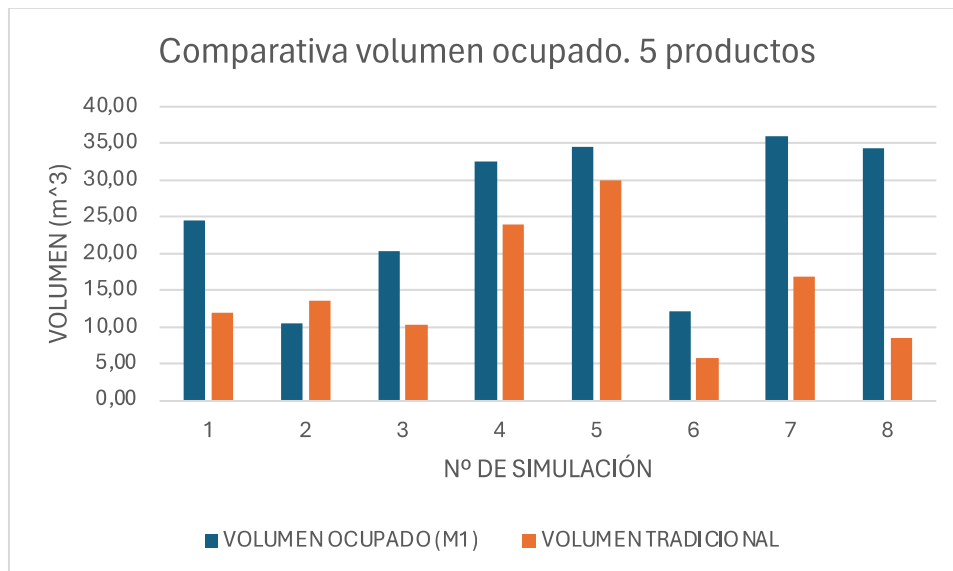


Figura 4-14 Comparativa volumen ocupado. 5 productos [Autoría propia]

- Diez productos. Para este análisis se han realizado cinco simulaciones con diez productos aleatorios. Aunque porcentualmente no se ve un incremento en el ahorro, 4,95% frente al 4,8% de la simulación con cinco productos; se observa que se ha obtenido un ahorro 239,99€. Por otro lado, en la Figura 4-16 se puede ver como a medida que aumenta el número de tipos de productos, el Modelo (M1) optimiza más el espacio y se puede asumir que existe una relación directa entre el aprovechamiento del espacio y el ahorro.

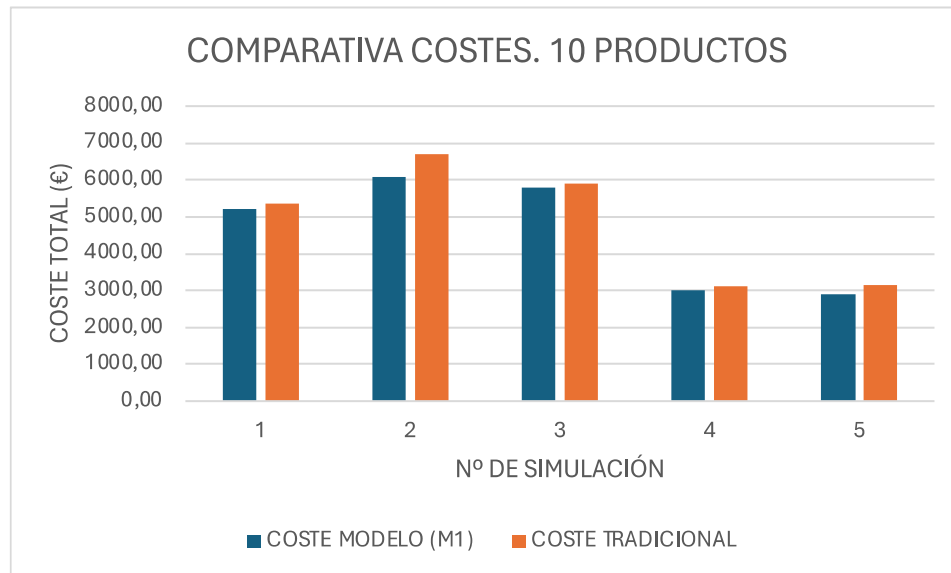


Figura 4-15 Comparativa costes. 10 productos [Autoría propia]

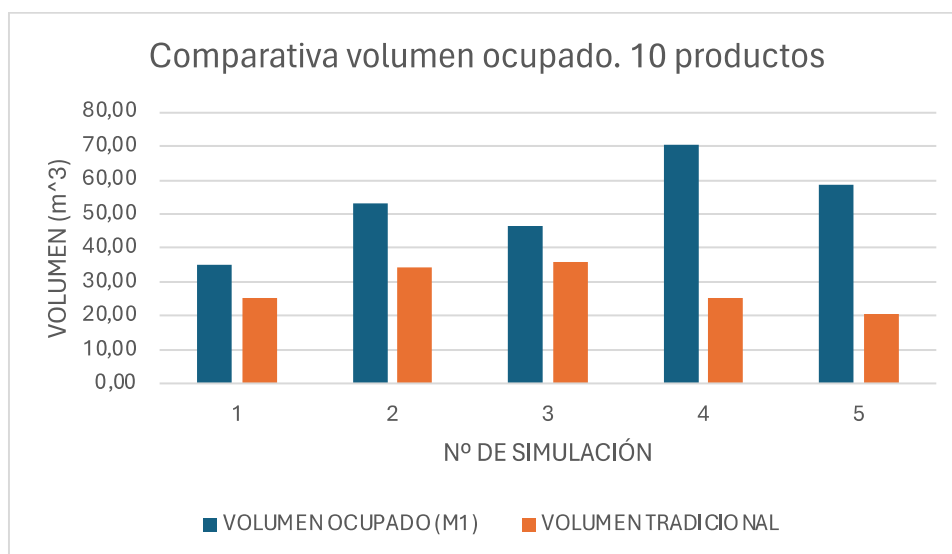


Figura 4-16 Comparativa volumen ocupado. 10 productos [Autoría propia]

- Veinte productos. Se han realizado cinco simulaciones con veinte productos diferentes. A medida que aumenta el número de productos aumenta el ahorro. Tal y como se muestra en la Figura 4-17, el Modelo (M1) tiene un ahorro medio de 395,13€ respecto al modelo tradicional. Además, la optimización del volumen es cada vez mayor, como se puede ver en la Figura 4-18

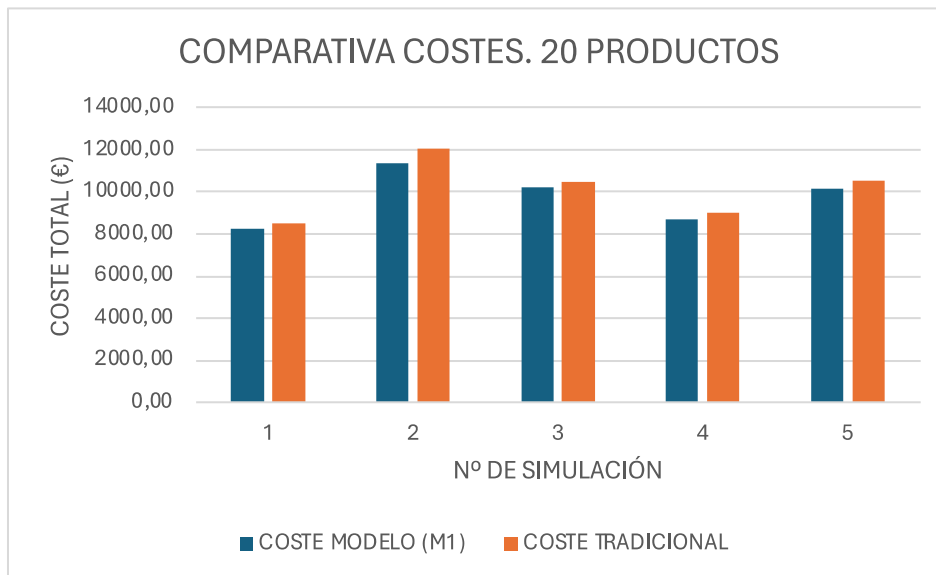


Figura 4-17 Comparativa costes. 20 productos [Autoría propia]

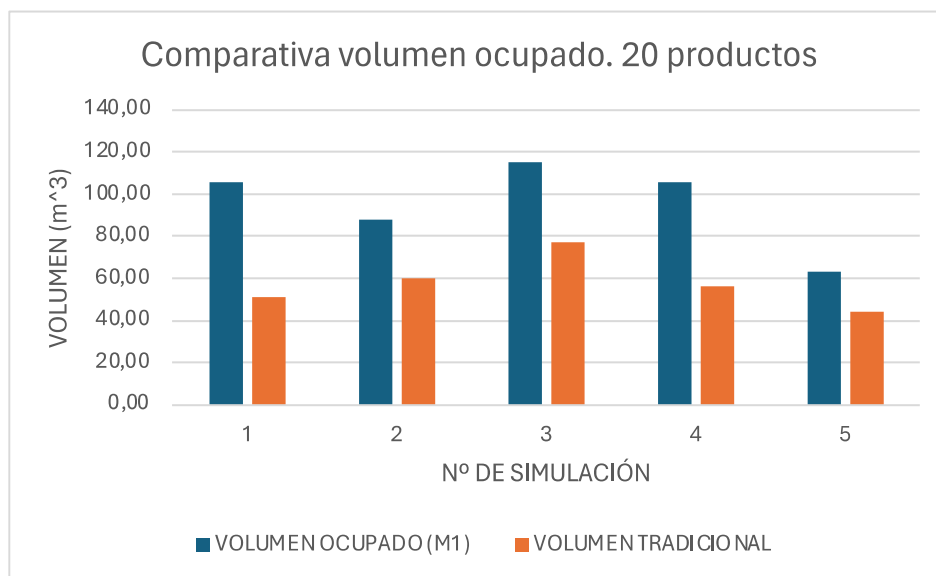


Figura 4-18 Comparativa volumen ocupado. 20 productos [Autoría propia]

- Cuarenta productos. En este caso solo se ha realizado una simulación ya que sólo se tienen 40 productos para simular. De esta manera, aunque el Modelo (M1) ahorre dinero respecto al modelo tradicional, no es posible obtener conclusiones de esta simulación. En la Figura 4-19 se observa que con el algoritmo desarrollado se ha conseguido un ahorro de 246,78€ y una optimización del espacio del 14%, tal como se ve en la comparativa de la Figura 4-20.

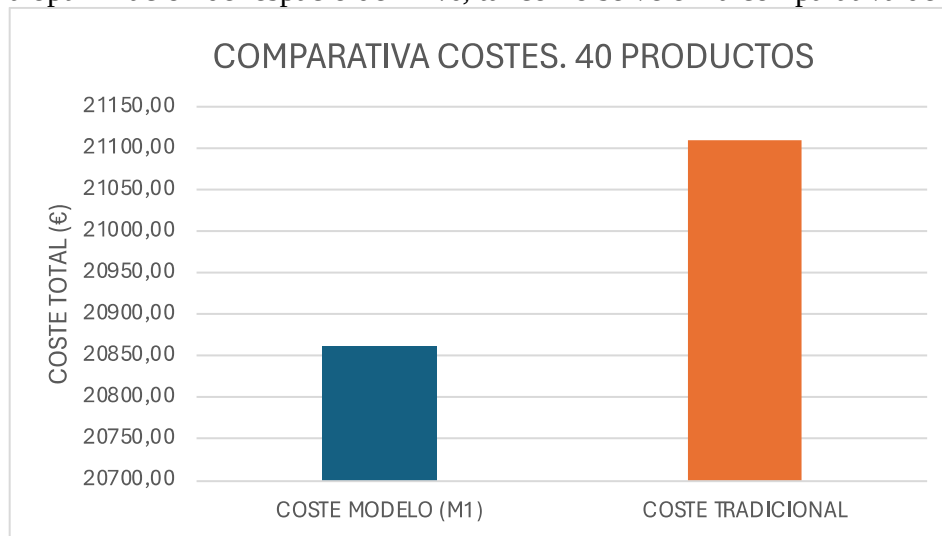


Figura 4-19 Comparativa costes. 40 productos [Autoría propia]

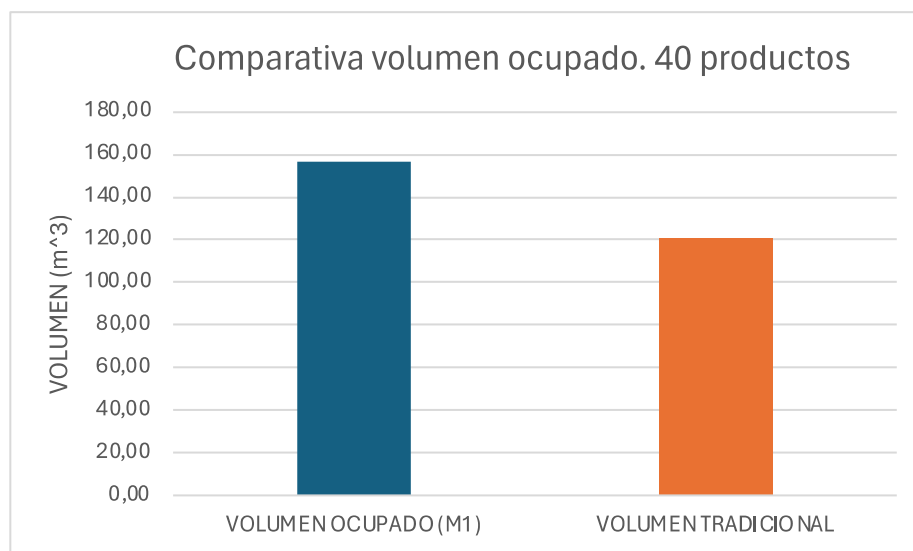


Figura 4-20 Comparativa volumen ocupado. 40 productos [Autoría propia]

4.2.2 Navegación

Para realizar el análisis, se ha seguido la misma metodología que para el supuesto de no navegación. En este caso, se ha hecho el análisis usando la navegación que aparece en la Figura 4-21 .

ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA				
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DÍAS DE NAVEGACIÓN
1º ESCALA	ATENAS	25/2/22	1/3/22	13
2º ESCALA	CIVITAVECCHIA	8/3/22	12/3/22	7
3º ESCALA	BARCELONA	16/3/22	20/3/22	4
4º ESCALA	PRAIA	6/4/22	10/4/22	17
5º ESCALA	SAN JUAN	29/4/22	4/5/22	19
6º ESCALA	LA HABANA	12/5/22	16/5/22	8
7º ESCALA	MIAMI	18/5/22	22/5/22	2
8º ESCALA	SANTANDER	20/6/22	24/6/22	29
9º ESCALA	SAINT MALO	28/6/22	2/7/22	4
10º ESCALA	MARÍN	12/7/22		10

Figura 4-21 Navegación ejemplo. [Capturada de archivo Excel]

- Un producto. Se han seleccionado cinco productos aleatorios y se ha ido evaluando uno a uno cada tránsito, para posteriormente obtener el coste total utilizando el modelo tradicional. En esta sección no se ha hecho una comparativa en términos de aprovechamiento de espacio, ya que el modelo tradicional solo garantiza cumplir con la demanda durante el tránsito. Así que cualquier respuesta proporcionada por el Modelo (M1) ocupará al menos lo mismo que el modelo tradicional. Utilizando el algoritmo desarrollado se ha conseguido un ahorro medio de 38,98€.

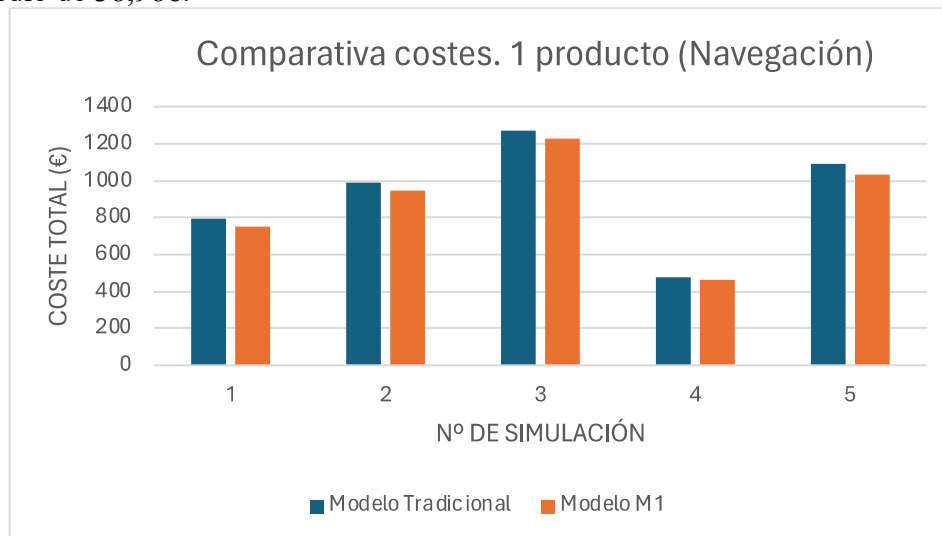


Figura 4-22 Comparativa costes. 1 producto (navegación) [Autoría propia]

- **Cinco productos:** Se han realizado cinco simulaciones evaluando grupos de cinco productos. Analizando y comparando los resultados del modelo tradicional frente al modelo, tal y como se puede ver en la Figura 4-23, se observa cómo se consiguen abaratar costes en todas las simulaciones. Se ha obtenido un ahorro medio de 146,06€ teniendo un coste medio de 3602,86 con el modelo (M1)

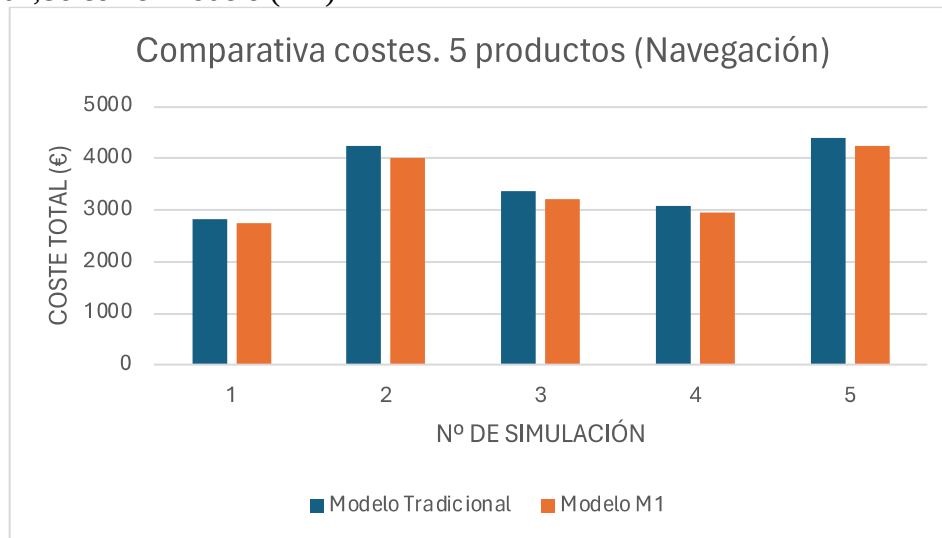


Figura 4-23 Comparativa costes. 5 productos (navegación) [Autoría propia]

- **Diez productos:** Al igual que para uno y cinco productos se han realizado cinco simulaciones con grupos de diez productos. Observando la Figura 4-24, se ve como en todas las simulaciones el algoritmo desarrollado es más rentable que la forma de trabajar actual. Sin embargo, el ahorro medio, 159,15€, no dista mucho del ahorro obtenido en la comparativa con cinco productos. Esto se debe que, al existir limitación de espacio, las existencias pedidas siguiendo la metodología actual y las obtenidas con el algoritmo no son muy diferentes.

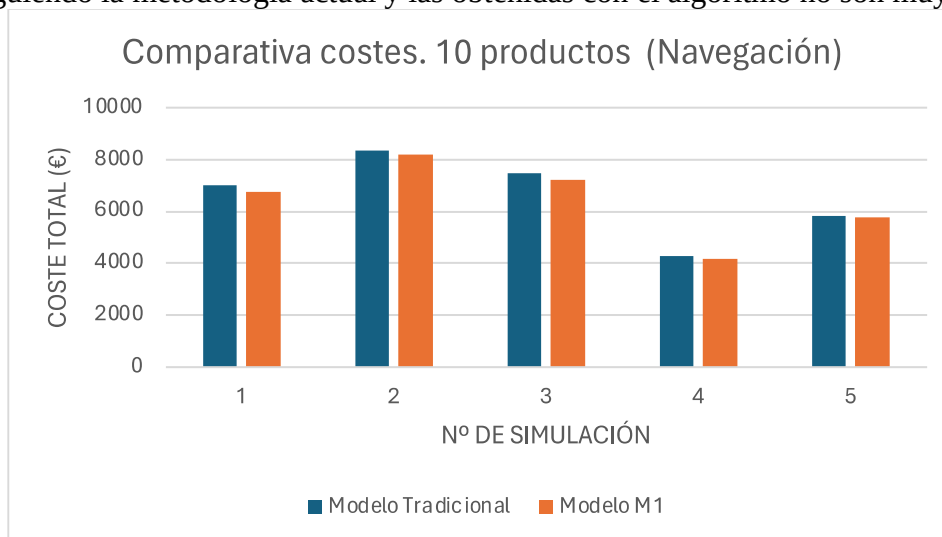


Figura 4-24 Comparativa costes. 10 productos (navegación) [Autoría propia]

- Veinte productos. En este caso, se han agrupado los productos en simulaciones de veinte en veinte. Además, para ver realmente el potencial del algoritmo, se aumentó el espacio disponible. De esta manera se observa que, con el Modelo (M1), se obtiene un ahorro medio de 344,05€. Si se comparan la Figura 4-24 y la Figura 4-25, se observa cómo, al tener más espacio, el ahorro entre modelos es mayor. Demostrando esto que, como máximo el coste con el Modelo (M1) desarrollado va a ser igual al coste que supone actualmente, siendo el espacio el factor determinante en la reducción del coste total. Es decir, si hay suficiente espacio, el Modelo (M1) va a proporcionar una opción más económica que la forma de trabajar existente.

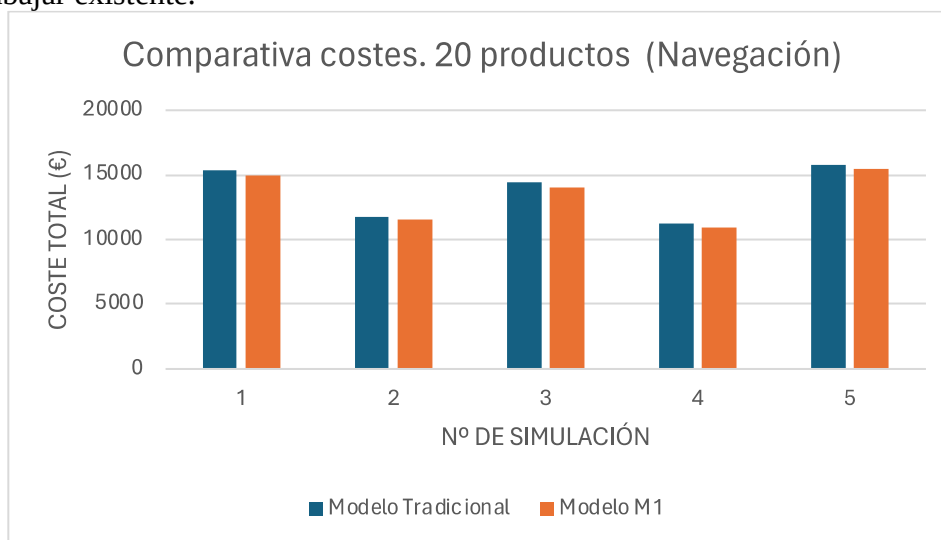


Figura 4-25 Comparativa costes. 20 productos (navegación) [Autoría propia]

- Cuarenta productos. Por último, al igual que en la parte de no navegación, se ha realizado el análisis con cuarenta productos, obteniendo un ahorro en la simulación de 645,23€, como se ve en la Figura 4-26.

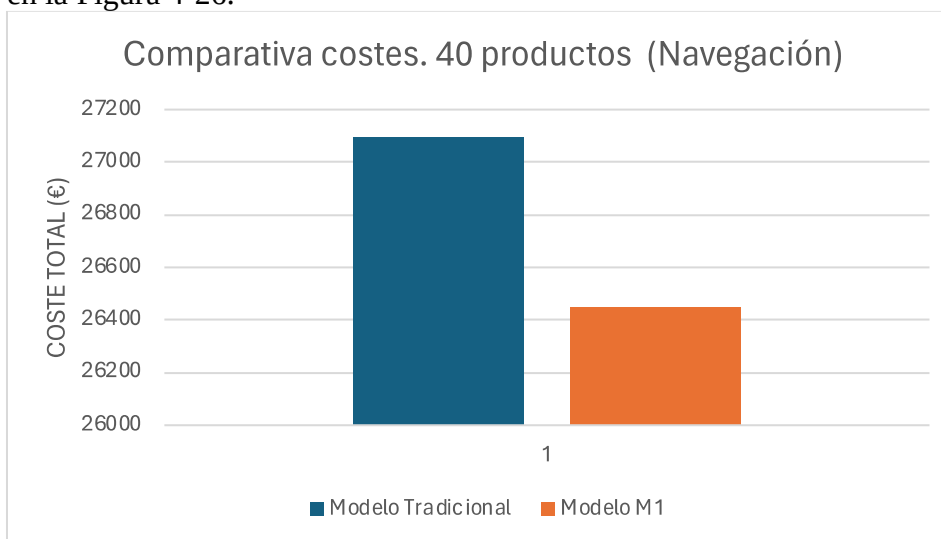


Figura 4-26 Comparativa costes. 40 productos (navegación) [Autoría propia]

.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones.

Una vez probado, analizado y evaluado el presente proyecto, se concluye lo siguiente.

En primer lugar, hay que destacar que toda organización tiene sus propias características y, por tanto, es difícil realizar un modelo determinista que tenga en cuenta las necesidades todas las organizaciones. Sin embargo, el modelo de la cantidad económica de pedido es el mejor método para la mayoría de las organizaciones.

El uso de una herramienta como Excel que trabaja con hojas de cálculo y permite manejar bases de datos donde almacenar y modificar una gran cantidad de productos de diferentes, ha permitido dar al usuario un software sencillo y conocido. Además, ha permitido personalizar el problema para diferentes tipos de almacenamiento, dimensiones, fechas y productos. Por otro lado, la utilización de un programa accesible y con capacidad de resolver problemas de programación no lineal, hace de *MATLAB* el programa clave para optimizar y sacar resultados de una forma rápida y exacta.

De esta manera, durante la primera parte del proyecto se ha conseguido obtener un modelo para adaptar el modelo EOQ a un stock multiproducto. De esta manera, el primer objetivo de este trabajo se ha cumplido. Además, se ha analizado como responde el algoritmo a la limitación de espacio, diferenciando entre quince situaciones diferentes, más dos situaciones en las que el algoritmo no es capaz de obtener una solución válida, solucionadas estas con una advertencia previa en el archivo Excel. A mayores, se ha conseguido la integración y sincronización del programa *MATLAB* con el archivo Excel logrando que el usuario cargue y lea toda la información en este último.

Es importante destacar, que al no existir una función en *MATLAB* similar a *fmincon* que devuelva valores enteros, pudiendo el redondeo posterior de la solución superar la limitación de espacio. Es por esto por lo que el usuario será el encargado de evaluar si prefiere truncar o redondear los valores devueltos tras la operación de optimización.

Por último, tras comparar el modelo desarrollado con la forma de actuar que se sigue actualmente en la Armada, se concluye que el algoritmo permite reducir costes. Adicionalmente, cuanto mayor sea el número de productos a solicitar mayor es el ahorro obtenido. Además, este ahorro también está afectado, por los costes unitarios de cada producto. Como consecuencia, se puede concluir que el algoritmo es una herramienta increíble de implementación sencilla para todo tipo de unidades.

Respecto a los aspectos a mejorar, el algoritmo está ahora preparado para trabajar con un máximo de cuarenta productos y diez escalas. Además, el programa no es capaz de diferenciar entre tipología de compartimentos, ni tampoco entiende de fechas de caducidad.

A pesar de lo anterior, los objetivos del Trabajo de Fin de Grado se han cumplido de forma satisfactoria.

5.2 Líneas futuras.

Basado en las conclusiones obtenidas, se proponen las siguientes líneas de trabajo a desarrollar:

- En primer lugar, optimizar el archivo Excel para aumentar la capacidad de análisis de más productos. Además, se podría aumentar la base de datos de existencias con productos de diferente tipología, y teniendo en cuenta la fecha de caducidad para determinar el tiempo máximo de permanencia en el almacén. En relación con las características de los productos, también incluir un histórico de pedidos y de consumo de cada uno de los productos con el objetivo de tener una desviación típica lo más actualizada posible.
- En segundo lugar, desarrollar el algoritmo para que sea capaz de diferenciar los productos en función de sus características y de las de cada uno de los compartimentos.
- Por último, si existiese una base de datos con las capacidades logísticas de cada buque, desarrollar el programa para conocer cuál es el mejor buque para cumplir con esa navegación en función de los volúmenes de almacenamiento de los que disponga. Por el contrario, también se podría desarrollar el programa para que dado un buque devuelva cuál es la ruta óptima a seguir para optimizar la gestión de stock.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] R.- ASALE y RAE, «inventario | Diccionario de la lengua española», «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Accedido: 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/inventario>
- [2] F. J. Rodríguez Rodríguez, «Decisiones tácticas. Gestión de existencias». Centro Universitario de la Defensa, 2022
- [3] E. Pérez Gorostegui, *Curso de economía de la empresa*. Editorial Universitaria Ramon Areces, 2017.
- [4] A. Rambaux, *Gestión económica de stock*, Hispano Europea. 1975.
- [5] Juan Velasco Sánchez y Juan Antonio Campins Masriera, *Gestión de la producción de la empresa*.
- [6] Y. Durán, «Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas», *Visión Gerencial*, n.º 1, pp. 55-78, junio de 2012.
- [7] «Tema 8. El stock de seguridad», Compartiendo conocimiento. Accedido: 30 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://josesande.com/2010/03/03/tema-8-el-stock-de-seguridad/>
- [8] Cortés López, Juan Carlos;, Roselló Ferragud, María Dolores, Romero Bauset, José Vicente, y Villanueva Micó, Rafael Jacinto, «Modelos de optimización de inventarios en una y dos variables». Universidad Politécnica de Valencia, julio de 2010.
- [9] S. J. Pedrosa, «Coste de oportunidad», Economipedia. Accedido: 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/coste-de-oportunidad.html>
- [10] J. C. Morales Piñero, *Gestión de inventarios: Principales modelos aplicados a casos prácticos*, Universidad Sergio Arboleda. en Cátedra Ingeniería, 2020.
- [11] F. J. Rodríguez Rodríguez, «Decisiones estratégicas». Centro Universitario de la Defensa, 2022.
- [12] R. Muther, *Distribución en planta*. Hispano Europea Barcelona, 1970.
- [13] N. F. R. E. de I. I. de la U. Azcapotzalco, «Tipos de distribución en planta», UAMedia Blog. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uamedia.org/blog/tipos-de-distribucion-en-planta/>
- [14] «OGE-TEMA10-DISTRIBUCION_FISICA_INSTALACIONES.pdf». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ocw.uca.es/pluginfile.php/1656/mod_resource/content/1/OGE-TEMA10-DISTRIBUCION_FISICA_INSTALACIONES.pdf
- [15] «Sistemas de fabricación flexible». Universidad del País Vasco. Accedido: 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/1151_ca.pdf
- [16] «MCOIProgramacionMatematica.pdf». Accedido: 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/MCOIProgramacionMatematica.pdf>

[17] P. Linares, A. Ramos, P. Sánchez-Martín, Á. Sarabia, y B. Vitoriano, «MODELOS MATEMÁTICOS DE OPTIMIZACIÓN», septiembre de 2010.

[18] «Investigación operativa. Modelos matemáticos». Escuela de educación secundaria técnica Nº1 «Juan Bautista Alberdi». Accedido: 20 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eet1conesa.neocities.org/Contingencia/8ioperaciones6.pdf>

[19] B. Vitoriano, «PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA. MODELOS DE OPTIMIZACIÓN», Universidad Complutense de Madrid, enero de 2019

[20] «Optimizacion no lineal». Universidad Politécnica de Cartagena. Accedido: 16 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dmae.upct.es/~paredes/am_ti/apuntes/guia_onl.pdf(https://www.dmae.upct.es/~paredes/am_ti/apuntes/guia_onl.pdf)

[21] «Optimizacion_Problemas_sin_restricciones.pdf». Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19734/3/Optimizacion_Problemas_sin_restricciones.pdf

[22] «T2_no_lineal.pdf». Accedido: 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.uniovi.es/compmum/expositiva/Presentaciones_web/T2_no_lineal.pdf

[23] F. Vadillo, «ECUACIONES NO LINEALES».

[24] «MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico». Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>

[25] «Tareas básicas en Excel - Soporte técnico de Microsoft». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca>

[26] «Software de hojas de cálculo gratuito online: Excel | Microsoft 365». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/content/microsoft/bade/es-es/microsoft-365/excel>

[27] «La función fmincon», en *Optimización en MatLab*. Accedido: 7 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11191/fichero/Capítulo+5.pdf>

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

La gestión de stock además de tener implicaciones económicas también tiene una importante influencia en el medioambiente y en la sociedad en general. Un buen control de las existencias almacenadas permite tener mayor fiabilidad en la toma de las decisiones estratégicas. De esta manera, si se optimizan los recursos se puede valorar cuales son las instalaciones necesarias para hacer frente a las necesidades organizativas. Además, optimizando el aprovisionamiento de productos, se reducen los transportes entre proveedor y entidad reduciendo, de igual manera, los costes de transporte y las emisiones que estos tránsitos suponen. Además, el ahorro que se obtiene de implementar este modelo no tiene implicaciones en reducción de empleos, pero sí que podría tener un impacto en el aumento de los sueldos al aumentar los beneficios.

De esta manera, se tienen los siguientes resultados:

- Buena preparación y adaptabilidad en el entorno volátil y ambiguo actual. De esta manera, ser capaz de poder dar respuestas a la demanda de una forma fiable y sin demoras se convierte en una característica clave. Poniendo el foco en el entorno de las Fuerzas Armadas, esta buena preparación se ve traducida en una rápida respuesta ante una situación de crisis, tanto de guerra como social o sanitaria.
- Prestigio. Una buena gestión y, por ende, una buena atención al cliente se traduce en una buena reputación en el sector de trabajo. En el ámbito de la Armada, esta buena reputación se traduce en una buena imagen al extranjero, siendo un ejemplo para otros países de la OTAN y otros países colaboradores.
- No pérdida del valor del producto. Si se realiza una mala gestión, los productos podrían perder parte o la totalidad de su valor suponiendo una pérdida económica, y un malgasto de recursos.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Cualquier organización tiene una gran capacidad de influir y transformar el mundo. De esta manera, un pequeño cambio a nivel organizacional podría desembocar en un cambio a nivel local, sirviendo como germen para un cambio global. Durante el presente trabajo se ha hablado de cambios que optimizan el espacio a la vez que se reducen al mínimo indispensable los transportes.

Con esto se quiere poner en valor, que en muchas ocasiones las organizaciones acostumbradas a una forma de trabajo no analizan cual es el impacto que estas están produciendo en su entorno. Desde hace unos años hasta la actualidad, los consumidores han encontrado en la metodología y los orígenes de las materias primas, un criterio más para seleccionar una organización en lugar de otra. Esto ha dado lugar a que los productores hayan desarrollado diferentes estrategias con el fin de mejorar la responsabilidad social corporativa, pero ¿es esto suficiente?

Por otro lado, es importante pensar que la transición ecológica todavía no es una realidad y, por tanto, la mayoría de los procesos, transportes y materiales van en contra de lo que se considera el desarrollo sostenible. Como respuesta, además de apoyar y ser parte del cambio hacia alternativas más ecológicas, las organizaciones deben tratar de reducir al máximo los excesos y evitar malgastar recursos. De igual manera, el no aprovechamiento de las instalaciones se convierte en un despilfarro energético, afectando de igual manera al desarrollo urbanístico.

La Armada en particular, y las Fuerzas Armadas en general, como institución pública que es, debe ser consciente de la cantidad de recursos que se destinan para que cumplan con su labor de forma satisfactoria. Con esto se quiere decir que, la optimización de todo lo que se suministra y la capacidad de cumplir su misión con lo asignado, es un obligatorio en el ideario de toda unidad. Además, como trabajadores públicos, los militares deben ser los primeros en tratar de mejorar sus procedimientos con el objeto de reducir su impacto. Los funcionarios trabajan por y para la ciudadanía, por ello, aprovechar las instalaciones, no malgastar esfuerzos ni materiales y estar comprometidos con el desarrollo de la sociedad es fundamental.

En conclusión, el presente modelo además de una herramienta económica para reducir costes y optimizar espacios, simboliza una alternativa hacia otro tipo de gestión con menos desperdicios y más sostenible. Con esto no se quiere decir que sea la solución definitiva, sino que se quiere poner en evidencia que con ajustes insignificantes se puede construir un mundo mejor a la vez que se mejora la imagen institucional.

ANEXO III: CÓDIGOS DE MATLAB

FUNC_EOQ

```
function f = func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)
% function [f,g]=func_ejemplo(x,v,q,nn)
format long
%nn es el número de datos
%disp('valor iterado')
%x
%disp('vector d')
%d % es la demanda en un periodo de tiempo determinado en el que quiere
%disp('stock de seguridad')
%Ss
%disp('vector bb')
%bb % precio de adquisición de cada unidad
%disp('vector c')
%c % costo unitario de manetenimiento
%disp('vector k')
%k % coste unitario de emision
%disp ('valor p')
%p %prioridad / coste de oportunidad
%disp('valor nn')
%nn %nn es el número de datos
%Los comandos anteriores, son útiles para el contro del correcto
%funcionamiento del código.
f=0;
for j=1:nn
    f= f+ bb(j)*d(j)+(Ss(j)+0.5*x(j))*c(j)*bb(j)*t_anual+(k(j)*d(j))/x(j)+(p(j)*bb(j)*t_anual*x(j))/2;
end
%donde f se va acercando al resultado, clave del modelo de solución de
%ecuaciones no lineales con multiples variables
% bb(j) * d(j) es el coste de adquisición.
```

OPTIMIZADOR

```
clear all

format long

filename='PRUEBA1_BUSCAR V_simulaciones.xlsx'; % NOMBRE DEL ARCHIVO. Este será el archivo
sobre el que se va a coger y volcar toda la información.

% IMPORTANTE: no se deben modificar las dos hojas de 'DATOS A SACAR' ni
% 'DATOS OBTENIDOS' del excel.

nn=xlsread(filename,'H2:H2');

bb=[xlsread(filename,'d1:d40')]; % Coste unitario de adquisición. Coste de adquisición =  $bb(j)*d(j)$ 

k=[xlsread(filename,'f1:f40')]; % Coste de emisión. Se multiplica por el número de pedidos.  $(k(j)*d(j))/x(j)$ 

c=[xlsread(filename,'e1:e40')]; % Coste de mantenimiento. Se aplica al nivel de stock medio. Por tanto,
 $(Ss(j)+0.5*x(j))*c(j)$ 

d=[xlsread(filename,'b1:b40')]; % Demanda en periodo T. La suma de los EOQ de todos los pedidos durante
T es igual a d.

v=[xlsread(filename,'g1:g40')]; %Volumen unitario de cada producto. No puede ser mayor que la capacidad
máxima de la instalación al igual que la suma de estos.

p=[xlsread(filename,'c1:c40')]; %Preferencia. En base a unos criterios se penaliza un producto frente a otro.

Ss=[xlsread(filename,'i1:i40')]; %Stock de seguridad. Es lo que tenemos de remanente siempre. Ocupa un
volumen constante en nuestro almacén.

T=[xlsread(filename,'H13:H13')]; %Periodo T durante el que haremos el estudio.

t_anual=T/365;

capacidad_maxima=[xlsread(filename,'H15:H15')]; %Volumen máximo que tienen las instalaciones.

w=capacidad_maxima-Ss*v; % Espacio disponible. Es decir, el espacio que queda libre teniendo en cuenta
el Ss.

navegacion=[xlsread(filename,'H18:H18')]; % valor de control para indicar si se trata de una navegación o
de una situación en tierra.

redondeo=[xlsread(filename,'H20:H20')]; % valor de control para elegir tipo de redondeo

n_escalas=[xlsread(filename,'H22:H22')]; % valor que indica el número de transitos. Dimensiona las
matrices.
```

```
tvector=[xlsread(filename,'L1:L10')]; %Periodo T durante el que haremos el estudio en el caso de la
navegación.

decision_dd_frente_Ss=[xlsread(filename,'H24:H24')]; % valor de control para decidir preferencias

%% NAVEGAR y REDONDEAR

if navegacion == 1 && redondeo == 1 % empieza navegar y redondear

    T=sum(tvector);

    t_anual=T/365;

    x0=d; %el valor inicial. Se comenzará por la demanda en el periodo T para ir reduciendose hasta encontrar
el minimo.

    A=v'; %Primer término de la inecuación  $A*x < b$ . Se transpone para que el producto con x sea de
dimensiones 1x1.

    b=w; % Segundo término de la inecuación  $A*x < b$ . Debe ser un número y no una matriz.

    dd=d/T; %Demanda diaria. Considerando una demanda continua, es lo que se va a consumir en un día.
Será nuestro límite inferior.

    dd=ceil(dd); % Se aproxima a la unidad superior. Ya que nunca se podrá pedir la mitad de una unidad.

    Aeq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

    beq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

    solucion=(zeros(nn,n_escalas)); %Se dimensiona la matriz donde se recogerá la solución por tránsito.

    pedido_ya=zeros(nn,1); % Actúa como modificador del límite superior.

    extra=zeros(nn,1); % Actúa como modificador del límite inferior.

    coste=zeros(nn,1); % Dimensiona el vector coste total de cada producto

    coste_detallado=(zeros(nn,n_escalas)); % Dimensiona la matriz con los costes de cada producto en cada
tránsito.

    for j=1:n_escalas

        ub=d-pedido_ya; % Calcula los nuevos límites para evitar sobrecostes.

        lb=dd*tvector(j)-extra;

        for i=1:nn % evita obtener soluciones negativas

            if lb(i)<0;

                lb(i)=0;
```

```
end

if ub(i)<=abs(lb(i)) % evita inconsistencias del código.

    lb(i)=ub(i);

    ub(i)=ub(i)+10^(-4); % fmincon no corre con los limites inferiores y superiores exactamente iguales.

end

end

if w>0 && A*dd*tvector(j)<=w % se opera con normalidad.

    [x,fval,exitflag,output]=fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

    x=round(x,0);

    solucion(1:nn,j)=x;

    pedido_ya= pedido_ya +x;

    extra=x-lb;

    for i=1:nn

        coste(i)=bb(i)*x(i)+(Ss(i)+0.5*(x(i)+extra(i)))*c(i)*bb(i)*t_anual+k(i)+p(i)*bb(i)*t_anual*solucion(i)/2;

    %coste_detallado(1:nn,j)=coste;

    end

    coste_detallado(1:nn,j)=coste;

elseif w<=0 && A*dd*tvector(i)<=capacidad_maxima %caso en el que no entrá el stock de seguridad

    Ss=zeros(nn,1);

    w=capacidad_maxima;

    b=w;

    [x,fval,exitflag,output]=fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

    x=round(x,0);

    solucion(1:nn,j)=x;
```

```
pedido_ya= pedido_ya +x;

extra=x-lb;

for i=1:nn

    coste(i)=bb(i)*x(i)+(Ss(i)+0.5*(x(i)+extra(i)))*c(i)*bb(i)*t_anual+k(i)+p(i)*bb(i)*t_anual*solucion(i)/2

    %coste_detallado(1:nn,j)=coste;

end

    coste_detallado(1:nn,j)=coste

end

coste_detallado=round(coste_detallado,2); % se recopilan los costes y se redondean a céntimos

coste_total_producto=sum(coste_detallado);

coste_total_producto=coste_total_producto';

coste_total=sum(coste_total_producto);

writematrix(solucion,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','A50') %se vuelcan los resultados en
el archivo excel

writematrix(Ss,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','D1')

writematrix(tvector,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','C1')

writematrix(n_escalas,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','B1')

writematrix(coste_detallado,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','L50')

writematrix(coste_total_producto,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','V50')

writematrix(coste_total,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','W50')

end %ACABA aproximar y navegar

end

%% NAVEGAR y TRUNCAR

if navegacion == 1 && redondeo == 0

    tvector=[xlsread(filename,'L1:L10')]; %Periodo T durante el que haremos el estudio.
```

```
T=sum(tvector);
```

```
t_anual=T/365;
```

$x_0 = d$; %el valor inicial. Se comenzará por la demanda en el periodo T para ir reduciendose hasta encontrar el mínimo.

$A = v'$; %Primer término de la inecuación $A \cdot x < b$. Se transpone para que el producto con x sea de dimensiones 1×1 .

$b = w$; % Segundo término de la inecuación $A \cdot x < b$. Debe ser un número y no una matriz.

$dd = d/T$; %Demanda diaria. Considerando una demanda continua, es lo que se va a consumir en un día. Será nuestro límite inferior.

$dd = \text{ceil}(dd)$; % Se aproxima a la unidad superior. Ya que nunca se podrá pedir la mitad de una unidad.

```
Aeq=[]; % Terminos de igualdad. NQR
```

```
beq=[]; % Terminos de igualdad. NQR
```

```
n_escalas=[xlsread(filename,'H22:H22')];
```

```
solucion=(zeros(nn,n_escalas));
```

```
pedido_ya=zeros(nn,1);
```

```
extra=zeros(nn,1);
```

```
coste=zeros(nn,1);
```

```
coste_detallado=(zeros(nn,n_escalas));
```

```
for j=1:n_escalas
```

```
ub=d-pedido_ya;
```

```
lb=dd*tvector(j)-extra;
```

```
for i=1:nn
```

```
if ub(i)<abs(lb(i))
```

```
lb(i)=ub(i);
```

```
ub(i)=ub(i)+10-4 ;
```

```
end
```

```
end
```

```
if w>0 && A*dd*tvector(j)<=w

    [x,fval,exitflag,output]=fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

    x=fix(x);

    solucion(1:nn,j)=x;

    pedido_ya= pedido_ya +x;

    extra=x-lb;

    for i=1:nn

        coste(i)=bb(i)*x(i)+(Ss(i)+0.5*(x(i)+extra(i)))*c(i)*bb(i)*t_anual+k(i)+p(i)*bb(i)*t_anual*solucion(i)/2;

    %coste_detallado(1:nn,j)=coste;

    end

    coste_detallado(1:nn,j)=coste;

elseif w<=0 && A*dd*tvector(i)<=capacidad_maxima

    Ss=zeros(nn,1);

    w=capacidad_maxima;

    b=w;

    [x,fval,exitflag,output]=fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

    x=fix(x);

    solucion(1:nn,j)=x;

    pedido_ya= pedido_ya +x;

    extra=x-lb;

    for i=1:nn

        coste(i)=bb(i)*x(i)+(Ss(i)+0.5*(x(i)+extra(i)))*c(i)*bb(i)*t_anual+k(i)+p(i)*bb(i)*t_anual*x(i)/2;

    %coste_detallado(1:nn,j)=coste;

    end
```

```
coste_detallado(1:nn,j)=coste;
```

```
end
```

```
coste_detallado=round(coste_detallado,2);
```

```
coste_total_producto=sum(coste_detallado);
```

```
coste_total_producto=coste_total_producto';
```

```
coste_total=sum(coste_total_producto);
```

```
writematrix(solucion,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','A50')
```

```
writematrix(Ss,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','D1')
```

```
writematrix(tvector,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','C1')
```

```
writematrix(n_escalas,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','B1')
```

```
writematrix(coste_detallado,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','L50')
```

```
writematrix(coste_total_producto,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','V50')
```

```
writematrix(coste_total,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','W50')
```

```
end
```

```
end
```

```
%% NAVEGAR Y NO ENTRA
```

```
if navegacion == 1 && A*dd>=capacidad_maxima
```

```
disp('No es posible satisfacer la demanda diaria. No se puede navegar')
```

```
writematrix('No es posible satisfacer la demanda diaria. No se puede navegar',filename,'sheet','DATOS  
OBTENIDOS','range','W1')
```

```
end
```

```
if navegacion==1 && A*dd<capacidad_maxima
```

```
for i=1:n_escalas
```

```
if A*dd*tvector(i)>capacidad_maxima
```

```
disp('Navegación demasiado larga. Acortar tránsitos')
```

```
writematrix('Navegación demasiado larga. Acortar tránsitos',filename,'sheet','DATOS
OBTENIDOS','range','W1')

break

end

end

end %ACABA NAVEGAR Y NO ENTRA

%% NO NAVEGAR Y REDONDEAR

if navegacion == 0 && redondeo == 1

    x0=d; %el valor inicial. Se comenzará por la demanda en el periodo T para ir reduciendose hasta encontrar
el minimo.

    A=v'; %Primer término de la inecuación  $A*x < b$ . Se transpone para que el producto con x sea de dimensiones
1x1.

    b=w; % Segundo término de la inecuación  $A*x < b$ . Debe ser un número y no una matriz.

    dd=d/T; %Demanda diaria. Considerando una demanda continua, es lo que se va a consumir en un día. Será
nuestro límite inferior.

    dd=ceil(dd); % Se aproxima a la unidad superior. Ya que nunca se podrá pedir la mitad de una unidad.

    Aeq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

    beq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

    ub=d; %Límite superior. En este caso el limite sera la demanda en todo el periodo T ya que si tengo mas
estaría malgastando dinero y espacio.

    lb=dd; %Limite inferior. En este caso será la demanda diaria ya que si no se tendria que hacer mas de un
pedido al día.

    if w>0 && A*dd<=w

        %nonlcon =[];

        [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x) func_ejemplo(x,v,q,nn),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)

        [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);

        x=round(x,0);

        display('Se opera con normalidad')
```

```
elseif w<=0 && A*dd<=capacidad_maxima
```

```
    w=capacidad_maxima;
```

```
    display('El stock de seguridad es mayor que el espacio disponible')
```

```
    Ss=zeros(1,nn)';
```

```
    b=w;
```

```
    [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);
```

```
    x=round(x,0);
```

```
elseif w>0 && A*dd>w
```

```
    if decision_dd_frente_Ss==0
```

```
        lb=zeros(1,nn);
```

```
        [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
        x=round(x,0);
```

```
        display('La demanda diaria no me entra pero el stock de seguridad si')
```

```
    elseif decision_dd_frente_Ss == 1
```

```
        lb=zeros(1,nn);
```

```
        Ss=zeros(1,nn)';
```

```
        w=capacidad_maxima;
```

```
        [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
        x=round(x,0);
```

```
        disp('Aunque la demanda diaria no entre,quitando el stock de seguridad esto es lo máximo que se  
puede pedir ')
```

```
    end
```

```
elseif w<=0 && A*dd>capacidad_maxima
```

```
    lb=zeros(1,nn);
```

```
    Ss=zeros(1,nn)';
```

```
    w=capacidad_maxima;
```

```
    [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
x=round(x,0);

display('Ni la demanda ni el stock')

writematrix('Ni la demanda ni el stock',filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','H1')

end

for i=1:nn

N(i)= d(i)/x(i);

t(i)=(x(i)/d(i))*T;

coste=bb(i)*d(i)+(Ss(i)+0.5*x(i))*c(i)*bb(i)*t_anual+(k(i)*d(i))/x(i)+(p(i)*bb(i)*t_anual*x(i))/2;

end

coste=round(coste',2);

coste_total=sum(coste);

Num_pedidos=N';

t_pedidos=t';

writematrix(Num_pedidos,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','B1')

writematrix(Ss,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','D1')

writematrix(t_pedidos,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','C1')

writematrix(x,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','A1')

writematrix(coste,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','E1')

writematrix(coste_total,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','F1')

end

%%

%% NO NAVEGAR Y TRUNCAR

if navegacion == 0 && redondeo == 0

    x0=d; %el valor inicial. Se comenzará por la demanda en el periodo T para ir reduciendose hasta encontrar
    el minimo.

    A=v'; %Primer término de la inecuación  $A*x < b$ . Se transpone para que el producto con x sea de dimensiones
    1x1.

    b=w; % Segundo término de la inecuación  $A*x < b$ . Debe ser un número y no una matriz.
```

dd=d/T; %Demanda diaria. Considerando una demanda continua, es lo que se va a consumir en un día. Será nuestro límite inferior.

dd=ceil(dd); % Se aproxima a la unidad superior. Ya que nunca se podrá pedir la mitad de una unidad.

Aeq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

beq=[]; % Terminos de igualdad. NQR

ub=d; %Límite superior. En este caso el limite sera la demanda en todo el periodo T ya que si tengo mas estaría malgastando dinero y espacio.

lb=dd; %Limite inferior. En este caso será la demanda diaria ya que si no se tendria que hacer mas de un pedido al día.

```
if w>0 && A*dd<=w
```

```
%nonlcon =[];
```

```
%[x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x) func_ejemplo(x,v,q,nn),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,nonlcon,options)
```

```
[x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub);
```

```
x=fix(x)
```

```
display('Se opera con normalidad')
```

```
elseif w<=0 && A*dd<=capacidad_maxima
```

```
w=capacidad_maxima;
```

```
display('El stock de seguridad es mayor que el espacio disponible')
```

```
Ss=zeros(1,nn)';
```

```
b=w;
```

```
[x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
x=fix(x);
```

```
elseif w>0 && A*dd>w
```

```
if decision_dd_frente_Ss==0
```

```
lb=zeros(1,nn);
```

```
[x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
```

```
x=round(x,0);
```

```
display('La demanda diaria no me entra pero el stock de seguridad si')
```

```
elseif decision_dd_frente_Ss == 1

    lb=zeros(1,nn);

    Ss=zeros(1,nn)';

    w=capacidad_maxima;

    [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)

    x=fix(x);

    disp('Aunque la demanda diaria no entre,quitando el stock de seguridad esto es lo máximo que se
puede pedir ')

end

elseif w<=0 && A*dd>capacidad_maxima

    lb=zeros(1,nn);

    Ss=zeros(1,nn)';

    w=capacidad_maxima;

    [x,fval,exitflag,output] = fmincon(@(x)(func_eoq(x,bb,Ss,d,c,k,p,nn,t_anual)),x0,A,b,Aeq,beq,lb,ub)

    x=fix(x);

    display('Ni la demanda ni el stock')

    writematrix('Ni la demanda ni el stock',filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','H1')

end

for i=1:nn

    N(i)= d(i)/x(i);

    t(i)=(x(i)/d(i))*T;

    coste=bb(i)*d(i)+(Ss(i)+0.5*x(i))*c(i)*bb(i)*t_anual+(k(i)*d(i))/x(i)+(p(i)*bb(i)*t_anual*x(i))/2;

end

coste=round(coste,2);

coste_total=sum(coste);

Num_pedidos=N';

t_pedidos=t';

writematrix(Num_pedidos,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','B1')
```

```
writematrix(Ss,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','D1')  
  
writematrix(t_pedidos,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','C1')  
  
writematrix(x,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','A1')  
  
writematrix(coste,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','E1')  
  
writematrix(coste_total,filename,'sheet','DATOS OBTENIDOS','range','F1')  
  
end
```


ANEXO IV: SIMULACIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL ALGORITMO OPTIMIZADOR

En este anexo se recogen todas las simulaciones realizadas para probar que el código es correcto y funciona. CASO 1: Es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:		EJEMPLO_BUQUE		
FECHA DE INICIO:	12/1/24			
FECHA FIN:	23/2/24			
DIAS TOTALES:	42			
¿QUITAR FESTIVOS?	SI			
DIAS HÁBILES	31			
TIPO DE INSTALACIÓN	BUQUE			
CAPACIDAD COMPARTIMENTO	2328			
REDONDEO	MÁS PROXIMO			
¿NAVEGACIÓN?	SI			
Rellenar tabla inferior				
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA				
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DIAS DE NAVEGACIÓN
1º ESCALA		18/1/24	19/1/24	6
2º ESCALA		25/1/24	21/1/24	6
3º ESCALA		31/1/24	3/2/24	10
4º ESCALA		13/2/24	15/2/24	10
5º ESCALA		23/2/24		8
6º ESCALA				
7º ESCALA				
8º ESCALA				
9º ESCALA				
10º ESCALA				

< > febrero 2024

lu	ma	mi	ju	vi	sá	do
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	1	2	3
4	5	6	7			

Figura A4- 0-1 Condiciones iniciales. CASO 1 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,79	4,54	0,50	0,27	0,30	0,67	0,44	3,00	2	
0,62	1,14	0,35	2,00	0,08	0,67	0,44	3,00	2	
0,93	8,16	0,55	1,00	0,21	0,94	1,55	1,00	2	

Figura A4-0-2 Características del pedido. CASO 1 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-3 Resultados obtenidos. CASO I [Capturado del archivo Excel]

- CASO 2. Es una navegación y no entra la demanda en el periodo de navegación. En este caso da igual si se redondea o se trunca ya que no se puede satisfacer la demanda y por tanto la solución no será válida. El programa devolverá un mensaje de aviso: “Navegación demasiado larga. Acortar tránsitos”.

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:		EJEMPLO_BUQUE	< > febrero 2024							MODELO EQQ_EXCEL_AF PELAYO GARCIA FERNANDEZ										
FECHA DE INICIO:		12/1/24	lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	BUQUE										
FECHA FIN:		23/2/24	29	30	31	1	2	3	4	Nº DE COMPARTIMENTO	DATOS DEL COMPARTIMENTO				DATOS FINALES					
DÍAS TOTALES:		42	5	6	7	8	9	10	11		K → fondo				Manga (b)	Eslota (l)	Permeabilidad(μ)	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO	
¿QUITAR FESTIVOS?		SI	12	13	14	15	16	17	18		EJEMPLO_BUQUE				5	4	3	0,8	48	48
DÍAS HÁBILES		31	19	20	21	22	23	24	25											
TIPO DE INSTALACIÓN		BUQUE	26	27	28	29	1	2	3											
CAPACIDAD COMPARTIMENTO		48	4	5	6	7														
REDONDEO		MÁS PROXIMO																		
¿NAVEGACIÓN?		SI																		
Rellenar tabla inferior																				
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA																				
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DIAS DE NAVEGACIÓN																
1º ESCALA		18/1/24	19/1/24	6																
2º ESCALA		25/1/24	21/1/24	6																
3º ESCALA		31/1/24	3/2/24	10																
4º ESCALA		13/2/24	15/2/24	10																
5º ESCALA		23/2/24		8																
6º ESCALA																				
7º ESCALA																				
8º ESCALA																				
9º ESCALA																				
10º ESCALA																				
En caso de falta de almacenamiento para satisfacer la demanda diaria, ¿desea prescindir del stock de seguridad?																			SI	

Figura A4 0-4 Condiciones iniciales. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,79	4,54	0,50	0,27	0,30	0,67	0,44	35,00	16	
0,62	1,14	0,35	2,00	0,08	0,67	0,44	3,00	2	
0,93	8,16	0,55	1,00	0,21	0,94	1,55	1,00	2	
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	250,00	185	

Figura A4-0-5 Características del pedido. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4- 0-6 Resultados obtenidos. CASO 2 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-7 Condiciones iniciales. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-8 Características del pedido. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-9 Resultados obtenidos. CASO 3 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 4. Es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.

					< > febrero 2024							MODELO EQQ_EXCEL_AF PELAYO GARCIA FERNANDEZ						
NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:		EJEMPLO_BUQUE																
FECHA DE INICIO:		12/1/24																
FECHA FIN:		23/2/24																
DÍAS TOTALES:		42																
¿QUITAR FESTIVOS?		SI																
DÍAS HÁBILES		31																
TIPO DE INSTALACIÓN		BUQUE																
CAPACIDAD COMPARTIMENTO		96																
REDONDEO		UNIDAD INFERIOR																
¿NAVEGACIÓN?		SI																
Rellenar tabla inferior																		
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA																		
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DÍAS DE NAVEGACIÓN														
1º ESCALA		18/1/24	19/1/24	6														
2º ESCALA		25/1/24	21/1/24	6														
3º ESCALA		31/1/24	3/2/24	10														
4º ESCALA		13/2/24	15/2/24	10														
5º ESCALA		23/2/24		8														
6º ESCALA																		
7º ESCALA																		
8º ESCALA																		
9º ESCALA																		
10º ESCALA																		

														BUQUE													
Nº DE COMPARTIMENTO	DATOS DEL COMPARTIMENTO				DATOS FINALES																						
	K→ fondo	Manga (b)	Eslota (l)	Permeabilidad(μ)	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO																					
EJEMPLO_BUQUE	5	4	6	0,8	96	96																					

Figura A4-0-10 Condiciones iniciales. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,79	4,54	0,50	0,27	0,30	0,67	0,44	35,00	16	
0,62	1,14	0,35	2,00	0,08	0,67	0,44	3,00	2	
0,93	8,16	0,55	1,00	0,21	0,94	1,55	1,00	2	
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	250,00	185	

Figura A3-0-11 Características del pedido. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-12 Resultados obtenidos. CASO 4 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 5. Es una navegación, se quiere truncar, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda durante cada uno de los tránsitos.

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:					< > febrero 2024							MODELO EQO_EXCEL_AF PELAYO GARCIA FERNANDEZ						
EJEMPLO_BUQUE					lu ma mi ju vi sá do							BUQUE						
FECHADE INICIO:					29 30 31 1 2 3 4							Nº DE COMPARTIMENTO	DATOS DEL COMPARTIMENTO				DATOS FINALES	
FECHAFIN:					5 6 7 8 9 10 11								K→ fondo	Manga (b)	Eslota (l)	Permeabilidad(μ)	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
DIAS TOTALES:					12 13 14 15 16 17 18							EJEMPLO_BUQUE	5	12	5	0,8	240	240
¿QUITAR FESTIVOS?					19 20 21 22 23 24 25													
DIAS HÁBILES					26 27 28 29 1 2 3													
TIPO DE INSTALACIÓN					4 5 6 7 8 9 10													
CAPACIDAD COMPARTIMENTO																		
REDONDEO																		
¿NAVEGACIÓN?																		
Rellenar tabla inferior																		
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA																		
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DIAS DE NAVEGACIÓN														
1º ESCALA		18/1/24	19/1/24	6														
2º ESCALA		25/1/24	21/1/24	6														
3º ESCALA		31/1/24	3/2/24	10														
4º ESCALA		13/2/24	15/2/24	10														
5º ESCALA		23/2/24		8														
6º ESCALA																		
7º ESCALA																		
8º ESCALA																		
9º ESCALA																		
10º ESCALA																		
En caso de falta de almacenamiento para satisfacer la demanda diaria, ¿desea prescindir del stock de seguridad?																SI		

Figura A4-0-13 Condiciones iniciales. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,79	4,54	0,50	0,27	0,30	0,67	0,44	35,00	16	
0,62	1,14	0,35	2,00	0,08	0,67	0,44	3,00	2	
0,93	8,16	0,55	1,00	0,21	0,94	1,55	1,00	2	
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	250,00	185	

Figura A4-0-14 Características del pedido. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-15 Resultados obtenidos. CASO 5 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 6. Es una navegación y no entra la demanda diaria. En este caso da igual si se redondea o se trunca ya que no se puede satisfacer la demanda y por tanto la solución no será válida. El programa devolverá un mensaje de aviso: "No es posible satisfacer la demanda diaria. No se puede navegar".

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:					< > febrero 2024							MODELO EQQ_EXCEL_AF PELAYO GARCIA FERNANDEZ						
EJEMPLO_BUQUE					lu	ma	mi	ju	vi	sá	do	BUQUE						
FECHA DE INICIO:					29	30	31	1	2	3	4	Nº DE COMPARTIMENTO	DATOS DEL COMPARTIMENTO				DATOS FINALES	
FECHA FIN:					5	6	7	8	9	10	11		K→ fondo	Manga (b)	Eslota (l)	Permeabilidad(μ)	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
DIAS TOTALES:					12	13	14	15	16	17	18	EJEMPLO_BUQUE	1	1	1	0,8	0,8	0,8
¿QUITAR FESTIVOS?					19	20	21	22	23	24	25							
DIAS HÁBILES					26	27	28	29	1	2	3							
TIPO DE INSTALACIÓN					4	5	6	7	🕒	⚙️								
CAPACIDAD COMPARTIMENTO																		
REDONDEO																		
¿NAVEGACIÓN?																		
Rellenar tabla inferior																		
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA																		
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DIAS DE NAVEGACIÓN														
1ª ESCALA		18/1/24	19/1/24	6														
2ª ESCALA		25/1/24	21/1/24	6														
3ª ESCALA		31/1/24	3/2/24	10														
4ª ESCALA		13/2/24	15/2/24	10														
5ª ESCALA		23/2/24		8														
6ª ESCALA																		
7ª ESCALA																		
8ª ESCALA																		
9ª ESCALA																		
10ª ESCALA																		
En caso de falta de almacenamiento para satisfacer la demanda diaria, ¿desea prescindir del stock de seguridad?																SI		

Figura A4-0-16 Condiciones iniciales. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,79	4,54	0,50	0,27	0,30	0,67	0,44	35,00	16	
0,62	1,14	0,35	2,00	0,08	0,67	0,44	3,00	2	
0,93	8,16	0,55	1,00	0,21	0,94	1,55	1,00	2	
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	250,00	185	

Figura A4-0-17 Características del pedido. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-18 Resultados obtenidos. CASO 6 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 7. No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es positivo y se puede satisfacer la demanda diaria.

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:		EJEMPLO_TIERRA	
FECHA DE INICIO:		12/1/24	
FECHA FIN:		23/2/24	
DÍAS TOTALES:		42	
¿QUITAR FESTIVOS?		SI	
DÍAS HÁBILES		31	
TIPO DE INSTALACIÓN		ALMACÉN	
CAPACIDAD COMPARTIMENTO		202	
REDONDEO		MÁS PROXIMO	
¿NAVEGACIÓN?		NO	

ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA				
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DÍAS DE NAVEGACIÓN
1º ESCALA				
2º ESCALA				
3º ESCALA				
4º ESCALA				
5º ESCALA				
6º ESCALA				
7º ESCALA				
8º ESCALA				
9º ESCALA				
10º ESCALA				

< > febrero 2024

lu	ma	mi	ju	vi	sá	do
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	1	2	3
4	5	6	7			

En caso de falta de almacenamiento para satisfacer la demanda diaria, ¿desea prescindir del stock de seguridad?							SI
ALMACÉN							
TIPO DE EXPOSITOR	DATOS DEL LINEAL				DATOS FINALES		
	LARGO	ANCHO	ALTO	Nº DE EXPOSITORES	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO	
EJEMPLO_ALMACÉN	20	10	1,01	1	202	202	

Figura A4-0-19 Condiciones iniciales. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVELDE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	1,00	2	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-20 Características del pedido. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-21 Resultados obtenidos. CASO 7 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 8. No es una navegación, se quiere redondear a la unidad más próxima, el espacio disponible es negativo y se puede satisfacer la demanda diaria.

NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:				EJEMPLO_TIERRA	
FECHA DE INICIO:				12/1/24	
FECHA FIN:				23/2/24	
DIAS TOTALES:				42	
¿QUITAR FESTIVOS?				SI	
DIAS HÁBILES				31	
TIPO DE INSTALACIÓN				ALMACÉN	
CAPACIDAD COMPARTIMENTO				25,25	
REDONDEO				MÁS PROXIMO	
¿NAVEGACIÓN?				NO	
ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA					
	PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DÍAS DE NAVEGACIÓN	
1º ESCALA					
2º ESCALA					
3º ESCALA					
4º ESCALA					
5º ESCALA					
6º ESCALA					
7º ESCALA					
8º ESCALA					
9º ESCALA					
10º ESCALA					

< > febrero 2024

lu	ma	mi	ju	vi	sá	do
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	1	2	3
4	5	6	7	🕒	⚙️	

ALMACÉN						
TIPO DE EXPOSITOR	DATOS DEL LINEAL				DATOS FINALES	
	LARGO	ANCHO	ALTO	Nº DE EXPOSITORES	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
EJEMPLO_ALMACÉN	5	5	1,01	1	25,25	25,25

Figura A4-0-22 Condiciones iniciales. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	100,00	113	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-23 Características del pedido. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-24 Resultados obtenidos. CASO 8 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-25 Condiciones iniciales. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-26 Características del pedido. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-27 Resultados obtenidos. CASO 9 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-28 Condiciones iniciales. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-29 Características del pedido. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-30 Resultados obtenidos. CASO 10 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-31 Condiciones iniciales. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	1,00	2	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-32 Características del pedido. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]

OBTENCIÓN DE UN MODELO PARA LA GESTIÓN DE STOCKS MULTIPRODUCTO CONSIDERANDO LA VARIABLE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO ENCAMINADO A LA ADOPCIÓN DE DECISIONES ESTRATÉGICAS OPERACIONALES.

[illegible]

Figura A4-0-33 Resultados obtenidos. CASO 11 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-34 Condiciones iniciales. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	1,00	2	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-35 Características del pedido. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-36 Resultados obtenidos. CASO 12 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-37 Condiciones iniciales. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	100,00	113	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-38 Características del pedido. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-39 Resultados obtenidos. CASO 13 [Capturado del archivo Excel]

- CASO 14. No es una navegación, se quiere trancar, no se puede satisfacer la demanda diaria, pero entra el stock de seguridad. Además, el usuario ha seleccionado que se mantenga el stock de seguridad.

[illegible]

Figura A4-0-40 Condiciones iniciales. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]

PREFERENCIA	COSTE DE ADQUISICIÓN	COSTE DE MANTENIMIENTO	COSTE DE EMISIÓN	TAMAÑO UNITARIO	NIVEL DE SERVICIO	Z	σ	Ss	REVISION
0,61	9,04	0,73	0,37	0,77	0,77	0,74	3,00	3	
0,55	23,39	0,10	12,00	0,78	0,78	0,77	1,00	1	
0,72	2,93	0,35	0,44	0,97	0,90	1,28	1,00	2	
0,47	0,85	0,37	1,23	0,21	0,87	1,13	1,00	2	
0,92	2,77	0,54	0,04	0,11	0,90	1,28	2,00	3	

Figura A4-0-41 Características del pedido. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-42 Resultados obtenidos. CASO 14 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-43 Condiciones iniciales. CASO 15 [Capturado del archivo Excel]

Figura A4-0-44 Características del pedido. CASO 15 [Capturado del archivo Excel]

[illegible]

Figura A4-0-45 Resultados obtenidos. CASO 15 [Capturado del archivo Excel

ANEXO V: CONSTRUCCIÓN DEL ARCHIVO EXCEL

Este Excel es el archivo clave sobre el que se basa el modelo, servirá a su vez de gestor de base de datos, fuente de exportación e importación de datos con *MATLAB*, herramienta de personalización y presentación de datos y resultados al usuario.

A5.1 Hoja de cálculo.

Este libro va a constar de 5 hojas que se nombrarán de la siguiente manera:

1. Hoja 1 → DATOS A SACAR
2. Hoja 2 → DATOS OBTENIDOS
3. Hoja 3 → PRESENTACIÓN
4. Hoja 4 → DATOS GENERALES
5. Hoja 5 → PRODUCTOS_ALIMENTOS

A5.1.1 Hoja “DATOS A SACAR”

Esta hoja es de la cual *MATLAB* toma los valores. El propósito de esta hoja es preparar los datos para que el programa de cálculo importe los datos de una forma sencilla. Por tanto, no debe ser modificada por el usuario.

Las columnas A, B, C, D, E, F, G e I contendrán datos relacionados con los productos que se desean pedir de tal manera que:

- Columna A: se presenta el nombre del producto. Este valor no es necesario para el algoritmo, pero sirve al desarrollador y al usuario para controlar el correcto funcionamiento de la hoja de cálculo. La fórmula en A1 es la siguiente, arrastrando la celda hasta A40.
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!A4="";"";PRESENTACIÓN!A4);SI(PRESENTACIÓN!A52="";"";PRESENTACIÓN!A52))
- Columna B: en esta columna aparece la demanda total del producto. De igual manera que para A1, la fórmula para B1 será:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!C4="";"";PRESENTACIÓN!C4);SI(PRESENTACIÓN!C52="";"";PRESENTACIÓN!C52))
- Columna C: se recoge el valor numérico de la variable preferencia (p). Así C1 es:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!N4="";"";PRESENTACIÓN!N4);SI(PRESENTACIÓN!N52="";"";PRESENTACIÓN!N52))
- Columna D: se presenta el coste de adquisición de cada producto. La fórmula de D1 es:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!O4="";"";PRESENTACIÓN!O4);SI(PRESENTACIÓN!O52="";"";PRESENTACIÓN!O52))
- Columna E: se muestra el coste de mantenimiento. E1 viene dado por la siguiente fórmula:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!P4="";"";PRESENTACIÓN!P4);SI(PRESENTACIÓN!P52="";"";PRESENTACIÓN!P52))
- Columna F: aparecen en esta columna los costes de emisión. F1 será entonces:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!Q4="";"";PRESENTACIÓN!Q4);SI(PRESENTACIÓN!Q52="";"";PRESENTACIÓN!Q52))
- Columna G: se recogen los volúmenes unitarios de cada producto. G1 viene definido por:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!R4="";"";PRESENTACIÓN!R4);SI(PRESENTACIÓN!R52="";"";PRESENTACIÓN!R52))
- Columna I: en esta columna se recogen los stocks de seguridad. Por tanto I1:
=SI(\$H\$18=0;SI(PRESENTACIÓN!V4="";"";PRESENTACIÓN!V4);SI(PRESENTACIÓN!V52="";"";PRESENTACIÓN!V52))

La columna H se ha dejado para, cargar en ella parámetros generales del problema. Estos son los que dotan de versatilidad al Modelo (M1). Las fórmulas de: el número de productos, días hábiles, capacidad máxima de las instalaciones, parámetros de personalización para escoger entre navegación o no, redondear o truncar, el número de escalas en caso de navegación y si se desea priorizar la demanda diaria frente al stock de seguridad; son las que se muestran en la Figura A5-1-1.

	H
1	NºPRO
2	=PRESENTACIÓN!A3
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	DH
13	=DATOS GENERALES!D7
14	ESPACIO
15	=DATOS GENERALES!D9
16	
17	NAVEGACION
18	=DATOS GENERALES!G7
19	REDONDEO
20	=DATOS GENERALES!H7
21	nº escalas
22	=DATOS GENERALES!A25
23	priorizar dd frente ss
24	=DATOS GENERALES!G9

Figura A5-1-1 Fórmulas de datos generales. Hoja DATOS A SACAR [Capturado del archivo Excel]

La columna L se recoge la duración de cada uno de los tránsitos. La fórmula para cada uno de los tránsitos será: =SI('DATOS GENERALES'!F15="";"";"DATOS GENERALES'!F15). El resto de la columna se obtiene arrastrando.

A5.1.2 Hoja “DATOS OBTENIDOS”

Esta hoja es la que se utiliza para volcar los resultados obtenidos por el Modelo (M1) en *MATLAB*. Por tanto, en esta hoja no se necesita escribir ninguna fórmula. Es importante destacar que una vez se haya realizado una simulación y se hayan recopilado los datos necesarios, hay que borrar esta hoja al completo. En caso de no hacerse, se podrían mezclar los resultados de una nueva simulación con otra realizada previamente.

A5.1.3 Hoja “PRESENTACIÓN”

La hoja presentación es la hoja donde se seleccionan los productos que se quieren gestionar, es por ello la hoja con más información y con más celdas utilizadas. Se puede dividir en tres partes diferenciadas: la tabla de realización para pedidos en buques o almacenes en tierra, su correspondiente para pedidos en el caso de ser una navegación, y por último una tabla auxiliar que sirve para hallar un valor numérico a la preferencia, p .

En primer lugar, relativo a la tabla auxiliar, es la que se muestra en la Figura A5-1-2. Los valores para cada uno de los criterios son personalizables para el usuario, en cambio, los criterios nominales afectarían al resultado o se tendría que modificar la fórmula.

	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
3	TABLA AUXILIAR					
4	TIPO DE PRODUCTO	S	F	C	D	NO ALIMENTO
5	VALOR	0,33	0,66	0,75	0,33	0,00
6	USO	A	B	C	N/S	
7	VALOR	0,25	0,45	0,85	0,00	
8	VALOR MONETARIO	CARO	MODERADO	BARATO	0	
9	VALOR	0,33	0,66	0,90	0,00	
10	FIABILIDAD DE STOCK	ALTA	MEDIA	BAJA	N/S	
11	VALOR	0,20	0,50	0,90	0,00	
12	DISPONIBILIDAD EN EL MERCADO	ALTA	MEDIA	BAJA	N/S	
13	VALOR	0,60	0,50	0,15	0,00	

Figura A5-1-2 Tabla auxiliar. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel]

En primer lugar, aparecen los datos del producto, relativos a la demanda, y los criterios para penalizar un producto frente a otro usando el coste de oportunidad. Tanto para esta parte de la tabla como para la siguiente, el usuario seleccionaría de una lista desplegable el producto y el resto de los datos se escribirían de forma automática. Para conseguir realizar esta, se debe:

- Clicando en la celda A4 seleccionar Datos en la ventana superior.
- Una vez, en ese desplegable se debe seleccionar validación de datos, cuyo símbolo es el que aparece rodeado en rojo en la Figura A5-1-3.

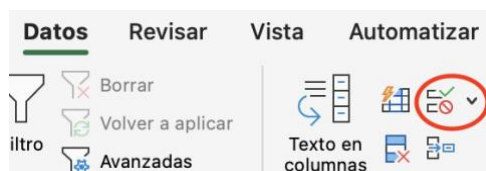


Figura A5-1-3 Icono "validación de datos". [Capturado de archivo Excel]

- Ya seleccionado, se debe cumplimentar la ventana emergente de acuerdo con la Figura A5-1-4

Figura A5-1-4 Ventana emergente de validación de datos. [Capturado de archivo Excel]

El resto de las celdas deberían de completarse de forma automática siguiendo la siguiente formulación:

- Columna B “IDENTIFICADOR”:
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;2;FALSO))
- Columna C “DEMANDA”:

- =SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;3;FALSO))
- Columna D “TIPO DE PRODUCTO”:
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;4;FALSO))
- Columna F “USO”:
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;5;FALSO))
- Columna H “VALOR MONETARIO”
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;6;FALSO))
- Columna J “FIABILIDAD DE STOCK”:
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;7;FALSO))
- Columna L “DISPONIBILIDAD”:
=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;8;FALSO))

Para obtener el valor numérico de los criterios para categorizar, es decir, completar los valores de las columnas E, G, I, K y M se deben completar las correspondientes celdas de la siguiente manera:

- Columna E “TIPOS DE PRODUCTO”:
=SI(D4="";"";SI(D4="S";\$AF\$5;SI(D4="F";\$AG\$5;SI(D4="C";\$AH\$5;SI(D4="D";\$AI\$5;\$AJ\$5))))))
- Columna G “USO”:
=SI(F4="";"";SI(F4="A";\$AF\$7;SI(F4="B";\$AG\$7;SI(F4="C";\$AH\$7;\$AI\$7))))
- Columna I “VALOR MONETARIO”:
=SI(H4="";"";SI(H4="CARO";\$AF\$9;SI(H4="MODERADO";\$AG\$9;SI(H4="BARATO";\$AH\$9;\$AI\$9))))
- Columna K “FIABILIDAD DE STOCK”:
=SI(J4="";"";SI(J4="ALTA";\$AF\$11;SI(J4="MEDIA";\$AG\$11;SI(J4="BAJA";\$AH\$11;\$AI\$11))))
- Columna M “DISPONIBILIDAD”:
=SI(L4="";"";SI(L4="";"";SI(L4="ALTA";\$AF\$11;SI(L4="MEDIA";\$AG\$11;SI(L4="BAJA";\$AH\$11;\$AI\$11))))

La columna N preferencia vendrá dada por la media aritmética de los anteriores valores numéricos de tal modo que: columna N “PREFERENCIA =SI(A4="";"";(E4+G4+I4+K4+M4)/5).

La siguiente parte de la tabla se centra en los costes de adquisición, mantenimiento y emisión, el tamaño unitario y el nivel de servicio de cada producto. Las fórmulas siguientes:

=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;xx;FALSO)),
siendo el valor de xx: 9, 10, 11 y 12 respectivamente.

En la columna T, se busca el valor de la tabla de la distribución normal que corresponda con cada nivel de servicio. De este modo la formula a escribir en A4 y luego arrastrar hacia abajo es:

=SI(S4="";"";DISTR.NORM.ESTAND.INV(S4))

En la columna U, se presenta la distribución estándar de cada producto con la siguiente fórmula:

=SI(A4="";"";BUSCARV(A4;PRODUCTOS_ALIMENTOS!\$A\$2:\$N\$41;14;FALSO))

La columna V muestra el resultado de la fórmula para hallar el stock de seguridad:

=SI(T4="";"";REDONDEAR.MAS((T4*U4);0))

Terminando con la parte de elección de productos de esta tabla, la columna W se ha elegido para que actúe como controlador y emita un aviso en caso de que el volumen unitario del producto sea mayor que la capacidad máxima de las instalaciones. De esta manera en W4 se deberá escribir:

=SI(R4="";"";SI(R4>'DATOS GENERALES'!\$D\$9;"¡ATENCIÓN! Este producto no entra dentro de las instalaciones.";""))

Estas instrucciones son las mismas para el apartado de navegación que se deberá de escribir a partir de la A52.

La siguiente y última parte de la tabla es la parte donde aparecerán los resultados. Allí se mostrarán, la cantidad a pedir, el número de pedidos, el tiempo entre pedidos, el stock de seguridad como comprobante y el coste. De esta manera se deben cumplimentar las celdas de acuerdo con la Figura A5-1-5 y Figura A5-1-6.

	X	Y	Z
3	EOQ	Nº DE PEDIDOS	T ENTRE PEDIDOS
4	=SI('DATOS OBTENIDOS'!A1="";"";"")	=SI(A4="";"";REDONDEAR.MAS('DATOS OBTENIDOS'!B1;0))	=SI(A4="";"";SI(REDONDEAR.MENOS('DATOS OBTENIDOS'!C1;0)=

Figura A5-1-5 Fórmulas tabla resultado almacén en tierra (parte 1). Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]

	AA	AB
3	Ss	Coste
4	=SI(A4="";"";"")	=SI('DATOS OBTENIDOS'!E1="";"";"")

Figura A5-1-6 Fórmulas tabla resultado almacén en tierra (parte 2). Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]

Para terminar la tabla hay dos celdas que analizan los resultados tal como se muestra en la Figura A5-1-7

	AC	AD
3	COMENTARIO	COMENTARIO
4	=SI(AA4="";"";SI(AA4=V4;"¡ATENCIÓN! Dato obtenido sin tener en cuenta stock de seguridad"))	=SI(X4="";"";SI('DATOS OBTENIDOS'!C1<1;"No es posible satisfacer la demanda diaria. Tiempo entre pedidos en horas";""))

Figura A5-1-7 Fórmulas comentarios acerca de las soluciones obtenidas. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado de archivo Excel]

Por último, para complementar la tabla donde el usuario selecciona cada producto hay que completar la celda correspondiente al coste total, como se puede ver en la Figura A5-1-8

	AA	AB
44	COSTE TOTAL	=SI('DATOS OBTENIDOS'!F1="";"";"")

Figura A5-1-8 Fórmula coste total. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel]

Para el caso de la navegación la presentación de los resultados es diferente, siendo el comando en la celda X52 el siguiente:

=SI('DATOS OBTENIDOS'!A50="";"";SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=2;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=3;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=4;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=5;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=6;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50;"";'DATOS OBTENIDOS'!F50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=7;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50;"";'DATOS OBTENIDOS'!F50;"";'DATOS OBTENIDOS'!G50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=8;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50;"";'DATOS OBTENIDOS'!F50;"";'DATOS OBTENIDOS'!G50;"";'DATOS OBTENIDOS'!H50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=9;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50;"";'DATOS OBTENIDOS'!F50;"";'DATOS OBTENIDOS'!G50;"";'DATOS OBTENIDOS'!H50;"";'DATOS OBTENIDOS'!I50);SI('DATOS A SACAR'!\$H\$22=10;CONCAT('DATOS OBTENIDOS'!A50;"";'DATOS OBTENIDOS'!B50;"";'DATOS OBTENIDOS'!C50;"";'DATOS OBTENIDOS'!D50;"";'DATOS OBTENIDOS'!E50;"";'DATOS

Ya para terminar esta hoja existen otras cuatro celdas, la primera sirve de aviso en caso de que la suma de los volúmenes unitarios sea mayor la capacidad máxima de las instalaciones o bien que no se pueda almacenar la demanda ni el stock de seguridad siendo la celda AE15 =SI(AL4>'DATOS GENERALES'!D9;"NO SE PUEDE REALIZAR ANÁLISIS, EL ESPACIO MÍNIMO OCUPADO POR ESTOS PRODUCTOS ES SUPERIOR A LA CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES. POR FAVOR, ELIMINE ALGÚN PRODUCTO.";SI('DATOS OBTENIDOS'!H1="Ni la demanda ni el stock";'DATOS OBTENIDOS'!H1;"")). La otra celda corresponde al aviso en caso de que en la simulación de navegación los tránsitos sean demasiado largos o no se pueda satisfacer la demanda diaria. De este modo AF51= SI('DATOS OBTENIDOS'!W1="";"";'DATOS OBTENIDOS'!W1). Las otras dos celdas, son donde se guardan los datos de número de productos y suma de volúmenes unitarios, como se puede ver en la Figura A5-1-10.

	AL
3	=SI("DATOS GENERALES"!D11="NO";CONTARA(A4:A43);CONTARA(A52:A91))
4	=SI("DATOS GENERALES"!D11="NO";SUMA(R4:R43);SUMA(PRESENTACIÓN!R52:R91))

Figura A5-1-10 Fórmula número de productos y suma de volúmenes unitarios. Hoja PRESENTACIÓN [Capturado del archivo Excel]

A5.1.4 Hoja "DATOS GENERALES"

Esta hoja es donde el usuario podrá personalizar por completo el modelo adaptándolo a su problemática. Se divide en tres partes.

En primer lugar, tal y como se observa en la Figura A5-1-11, en verde se aparecen las celdas a cumplimentar de forma manual y en blanco aquellas que son respuesta a una serie de fórmulas que aparecen en la Figura A5-1-12. En este caso también se ha incluido un calendario para seleccionar las fechas usando la herramienta "Iconos". Además, "¿Quitar festivos?", "Tipo de instalación", "Redondeo" y ¿Navegar? Son listas desplegables, donde las opciones son: SI/NO, ALMACÉN/BUQUE, MÁS PRÓXIMO/UNIDAD INFERIOR Y SI/NO.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1							< > julio 2022			
2	NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:						lu ma mi ju vi sá do			
3	FECHA DE INICIO:						27 28 29 30 1 2 3			
4	FECHA FIN:						4 5 6 7 8 9 10			
5	DÍAS TOTALES:			0			11 12 13 14 15 16 17			
6	¿QUITAR FESTIVOS?						18 19 20 21 22 23 24			
7	DÍAS HÁBILES			0			25 26 27 28 29 30 31			
8	TIPO DE INSTALACIÓN						1 2 3 4 ? ⚙			
9	CAPACIDAD COMPARTIMENTO			Indique tipo de instalación						
10	REDONDEO									
11	¿NAVEGACIÓN?									
12										

Figura A5-1-11 Tabla de preferencias. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]

	A	B	C	D	E
1					
2	NOMBRE DE BUQUE/INSTALACIÓN:				
3	FECHA DE INICIO:				
4	FECHA FIN:				
5	DÍAS TOTALES:			=DIAS(D4;D3)	
6	¿QUITAR FESTIVOS?			=SI(D6="SI";DIAS.LAB(D3;D4);D5)	
7	DÍAS HÁBILES				
8	TIPO DE INSTALACIÓN				
9	CAPACIDAD COMPARTIMENTO			=SI(D8="";"Indique tipo de instalación";SI(D8="BUQUE";MAX(R8:R20	
10	REDONDEO				
11	¿NAVEGACIÓN?				
12	=SI(D11="SI";"Rellenar tabla inferior";"")				

Figura A5-1-12 Tabla de preferencias con fórmulas. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]

Además, para construir los desplegables, y darle un valor numérico (1 o 0) a las preferencias se completan las siguientes celdas de acuerdo con la Figura A5-1-13.

	G	H
5	SI	NO
6	ALMACÉN	BUQUE
7	=SI(D11="SI";1;0)	=SI(D10="MÁS PROXIMO";1;0)
8	MÁS PROXIMO	UNIDAD INFERIOR
9	=SI(R23="SI";1;0)	

Figura A5-1-13 Celdas auxiliares. Hoja DATOS GENERALES. [Capturado del archivo Excel]

La siguiente parte es la parte donde se escoge la navegación. El algoritmo tiene capacidad de tener hasta diez escalas. Por ello, tal y como se muestra en la Figura A5-1-14, el usuario debe escribir el nombre de cada puerto y la fecha de llegada y salida de cada uno de ellos.

	A	B	C	D	E	F
12	Rellenar tabla inferior					
13	ORGANIZACIÓN DE LA NAVEGACIÓN/INCLUIR VUELTA A BASE COMO ULTIMA ESCALA					
14		PUERTO	LLEGADA	SALIDA	DIAS DE NAVEGACIÓN	
15	1º ESCALA	ATENAS	25/2/22	1/3/22	13	
16	2º ESCALA	CIVITAVECCHIA	8/3/22	12/3/22	7	
17	3º ESCALA	BARCELONA	16/3/22	20/3/22	4	
18	4º ESCALA	PRAIA	6/4/22	10/4/22	17	
19	5º ESCALA	SAN JUAN	29/4/22	4/5/22	19	
20	6º ESCALA	LA HABANA	12/5/22	16/5/22	8	
21	7º ESCALA	MIAMI	18/5/22	22/5/22	2	
22	8º ESCALA	SANTANDER	20/6/22	24/6/22	29	
23	9º ESCALA	SAINT MALO	28/6/22	2/7/22	4	
24	10º ESCALA	MARÍN	12/7/22		10	
25	10					113

Figura A5-1-14 Tabla navegación. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]

En la Figura A5-1-15 se muestran las fórmulas para completar la tabla anterior.

DIAS DE NAVEGACIÓN
=SI(D11="SI";SI(E15="";SI(D15=D4;DIAS(D15;D3);"Fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D15;D3));"
=SI(D16="";SI(E16="";SI(D16=D4;DIAS(D16;E15);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D16;E15)))
=SI(D17="";SI(E17="";SI(D17=D4;DIAS(D17;E16);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D17;E16)))
=SI(D18="";SI(E18="";SI(D18=D4;DIAS(D18;E17);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D18;E17)))
=SI(D19="";SI(E19="";SI(D19=D4;DIAS(D19;E18);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D19;E18)))
=SI(D20="";SI(E20="";SI(D20=D4;DIAS(D20;E19);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D20;E19)))
=SI(D21="";SI(E21="";SI(D21=D4;DIAS(D21;E20);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D21;E20)))
=SI(D22="";SI(E22="";SI(D22=D4;DIAS(D22;E21);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D22;E21)))
=SI(D23="";SI(E23="";SI(D23=D4;DIAS(D23;E22);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D23;E22)))
=SI(D24="";SI(E24="";SI(D24=D4;DIAS(D24;E23);"La fecha LLEGADA debe coincidir con FECHA FIN");DIAS(D24;E23)))
=SUMA(F15:F24)

Figura A5-1-15 Fórmulas tabla navegación. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]

Por último, están las tablas donde se personaliza los volúmenes bien de un buque o de un almacén, estas se muestran en la Figura 3-5 y en la Figura 3-6. Las fórmulas son iguales para ambas tablas siendo las que se muestran en la Figura A5-1-16. Entre ambas tablas en la celda R23 hay un desplegable con opciones SI/NO para decidir si dar preferencia a la demanda diaria frente al stock de seguridad o no.

	Q	R
3	DATOS FINALES	
4		
5		
6		
7	VOLUMEN	VOLUMEN ACUMULADO
8	=SI(L8="";M8*N8*O8*P8)	=SI(L8="";Q8)
9	=SI(L9="";M9*N9*O9*P9)	=SI(Q9="";R8+Q9)
10	=SI(L10="";M10*N10*O10*P10)	=SI(Q10="";R9+Q10)
11	=SI(L11="";M11*N11*O11*P11)	=SI(Q11="";R10+Q11)
12	=SI(L12="";M12*N12*O12*P12)	=SI(Q12="";R11+Q12)

Figura A5-1-16 Fórmulas tablas de almacenamiento. Hoja DATOS GENERALES [Capturado del archivo Excel]

A5.1.5 Hoja “PRODUCTOS_ALIMENTOS”

Esta hoja será la que se usará como base de datos de todos los productos, en este caso alimentos. En ella aparece el nombre del producto, su identificador, su demanda, el tipo de producto, su uso, su valor monetario, la fiabilidad de stock, la disponibilidad, los costes de adquisición, mantenimiento y emisión; el tamaño unitario, el nivel de servicio y la desviación típica de cada producto. Para evitar la doble selección en la hoja PRESENTACIÓN se ha creado en la columna O de la hoja PRODUCTOS_ALIMENTOS una tabla auxiliar que va borrando aquellos datos que ya se han seleccionado. De esta manera en la celda 02 se debe escribir: =SI("DATOS GENERALES"!\$G\$7=1;ORDENAR(FILTRAR(A2:A41;NO(CONTAR.SI(PRESENTACIÓN!A52:A91;PRODUCTOS_ALIMENTOS!A2:A41)))));ORDENAR(FILTRAR(A2:A41;NO(CONTAR.SI(PRESENTACIÓN!A4:A43;PRODUCTOS_ALIMENTOS!A2:A41))))