



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

## ÍNDICE

<b>1. Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Estado del Arte</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Introducción</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Cadena de suministro</b> .....	<b>2</b>
2.2.1. Definición.....	2
2.2.2. Dificultades en la gestión de una CdS .....	3
2.2.3. Cuestiones a resolver para gestionar una CdS .....	4
2.2.4. Configurar una red de suministro .....	5
2.2.4.1. Recolección de datos .....	5
2.2.4.2. Verificación de datos .....	7
2.2.4.3. Técnicas para configurar la red de suministro .....	7
2.2.5. El Efecto Látigo.....	8
2.2.5. Coordinación de sistemas e integración en la CdS .....	10
<b>2.3. Inventarios</b> .....	<b>12</b>
2.3.1. Definición de inventario .....	12
2.3.2. Tipos de inventario.....	12
2.3.3. Clasificación ABC de inventarios .....	13
2.3.4. Razones para almacenar .....	14
2.3.5. Tipos de almacenes .....	15
2.3.6. Sistemas de almacenaje .....	16
2.3.7. Factores que afectan a la política de inventarios .....	17
2.3.8. Modelo del tamaño de lote económico .....	17
2.3.9. Risk Pooling.....	18
2.3.10. Importancia de la información .....	21
<b>2.4. Transporte</b> .....	<b>22</b>
2.4.1. Estrategia Direct Shipping .....	22
2.4.2. Transporte “Full truck-load” y “Less than truck-load” .....	22
2.4.3. Estrategia Cross-Docking .....	24
<b>2.5. Comparativa: Centralización vs descentralización de inventarios</b> .....	<b>25</b>
<b>2.6. Conclusiones</b> .....	<b>28</b>
<b>3. Cálculo del impacto de la centralización y la descentralización de inventarios.</b>	
<b>Casos de estudio</b> .....	<b>30</b>
3.1. Simulación del impacto económico de la centralización y descentralización del inventario en una cadena de suministro compuesta por “n” almacenes (siendo n= 1, 2, ó 3) y diez minoristas.....	30

3.2. Simulación del impacto económico de rediseñar una cadena de suministro con la estrategia Cross-Docking.....	41
3.3. Estrategias para mejorar el nivel de servicio.....	50
3.4. Simulación de costes de transporte con la estrategia “Direct Shipping” y las técnicas “Full truck-load” y “Less than truck-load”.....	58
<b>4. Conclusión y valoración personal .....</b>	<b>68</b>
<b>5. Anexos .....</b>	<b>70</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>75</b>

## 1. RESUMEN

Este documento consiste en un estudio sobre el impacto económico que tiene la toma de decisiones relacionadas con el diseño y configuración de la cadena de suministro, prestando especial atención a la decisión de centralizar o descentralizar el inventario.

Para ello se presentan cuatro casos de estudio. El primero analiza la repercusión económica de utilizar uno o varios almacenes. El segundo plantea la implantación de la estrategia de almacenamiento Cross-Docking. En el tercero se analizan propuestas para aumentar el nivel de servicio mejorando la gestión del inventario. El cuarto y último plantea el impacto que tiene realizar envíos directos de fábrica a minoristas con los modelos Full Truck-load y Less Than Full Truck-load.

El estudio teórico se complementa con la simulación de ejemplos prácticos donde se analizan los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** *cadena de suministro, risk pooling, inventario.*

## 1. ABSTRACT

This document is a study on the economic impact of the decisions related to the design and configuration of the supply chain, focusing specially on the decision to centralize or decentralize inventory.

To this end, four case studies are presented. The first one analyses the economic impact of using one or more warehouses. The second raises the implementation of Cross-Docking strategy. At the third case study, proposals to increase the service level by improving inventory management are analysed. Finally, the fourth raises the economic impact of Direct Shipping strategy with Full Truck-load and Less Than Full Truck-load models.

The study is complemented by simulations of practical examples where results are analysed.

**Keywords:** *supply chain, risk pooling, inventory.*

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contextualiza el trabajo en el marco del diseño y gestión de la cadena de suministro, prestando especial atención a la gestión de stocks y a las consecuencias de centralizar o descentralizar el inventario. Se explican los conceptos logísticos necesarios para comprenderlo y se plantean los vacíos existentes en la investigación sobre la distribución del inventario en una red de suministro.

### 2.2. CADENA DE SUMINISTRO

#### 2.2.1. DEFINICIÓN

El término cadena de suministro (CdS) o Supply Chain (traducción al inglés) fue usado por primera vez en 1982 por el consultor Keith Oliver en una entrevista para el Financial Times.

David Blanchard la definió como:

“La secuencia de eventos que cubren el ciclo de vida entero de un producto o servicio desde que es concebido hasta que es consumido.”

El Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) afirma que:

“La Cadena de Suministro eslabona a muchas compañías, iniciando con materias primas no procesadas y terminando con el consumidor final utilizando los productos terminados. Todos los proveedores de bienes y servicios y todos los clientes están eslabonados por la demanda de los consumidores de productos terminados al igual que los intercambios materiales e informáticos en el proceso logístico, desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de productos terminados al usuario final.”

Otra definición interesante es:

“La cadena de suministro engloba los procesos de negocio, las personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de materias primas en productos y servicios intermedios y terminados que son ofrecidos y distribuidos al consumidor para satisfacer su demanda.” [1]

Se puede concluir de forma breve y generalista diciendo que la cadena de suministro son todos los actores involucrados en satisfacer la petición de un cliente.

Del mismo modo, el término ‘Gestión de la Cadena de Suministro’ ha sido definido de múltiples formas como por ejemplo:

“Conjunto de planteamientos utilizados para integrar de forma eficiente a proveedores, fabricantes, almacenes y minoristas para que la mercancía sea producida y distribuida en cantidades adecuadas, a las ubicaciones adecuadas y en el momento adecuado, con el fin de minimizar los costes globales satisfaciendo unos niveles de servicio determinados” [2]

Sin embargo, recientemente se concibe que la gestión de la cadena de suministro no sólo implica el seguimiento de productos sino también de información y dinero. Así pues, una definición más actual es:

“Planificación, organización, dirección y control de los flujos de materiales, información y dinero entre todos los actores de una cadena de suministro, haciendo uso de la información adecuada para tomar las mejores decisiones, con el objetivo de maximizar el valor entregado al cliente con el mínimo coste global, proporcionando un retorno adecuado a todos los actores de la cadena de suministro”. [3]

### 2.2.2. DIFICULTADES EN LA GESTIÓN DE UNA CdS

A la hora de elegir una estrategia para gestionar la cadena de suministro hay que tener en cuenta las siguientes dificultades:

-Los actores de la cadena de suministro suelen tener objetivos distintos y a veces entran en conflicto en lo que refiere a la cantidad producida o entregada, flexibilidad en los tiempos de entrega, estabilidad en los niveles de producción, etcétera.

-Dificultad para hacer coincidir el suministro y la demanda. En este punto entra en juego la integración de la información para realizar previsiones de demanda precisas. Un impedimento pueden ser los actores de la cadena reacios a compartir su información.

-La cadena de suministro es un sistema dinámico que varía a lo largo del tiempo. Las preferencias de los clientes evolucionan, y las relaciones entre los miembros de la cadena cambian.

-Dificultad para conseguir varios objetivos de forma simultánea. Por ejemplo, mejorar el nivel de servicio tradicionalmente se ha considerado que tenía como contrapartida el aumento del nivel de inventario. El desarrollo en las tecnologías de información y comunicaciones así como el uso de estrategias de gestión adecuadas ha demostrado que es posible lograr objetivos simultáneamente sin necesidad de mejorar uno en detrimento de otro. [4]

### 2.2.3. CUESTIONES A RESOLVER PARA GESTIONAR UNA CdS

Para gestionar adecuadamente una cadena de suministro deben plantearse una serie de preguntas sobre la configuración de la red de distribución, el control de inventario, las estrategias de distribución, la integración de la cadena y la relación entre sus miembros, el diseño del producto, y el valor percibido por el cliente.

En cuanto a la **configuración de la red de distribución**:

- ¿Cuántos almacenes se van a tener?
- ¿Qué capacidad van a tener?
- ¿Dónde van a estar ubicados?
- ¿Cuáles van a ser los flujos de transporte de los productos entre las instalaciones?
- ¿Cuál va a ser el nivel de producción de cada producto en cada planta?

Cuestiones que afectan al **control de inventario**:

- ¿Cómo reducir la variabilidad de la demanda?
- ¿Se debe pedir menos, igual, o más que la predicción de demanda?
- ¿Qué índice de rotación debe utilizarse?

En cuanto a **estrategias de distribución**:

- ¿Es conveniente usar almacenes cross-dock? (concepto explicado más adelante)
- En caso afirmativo, ¿Cuántos?
- ¿O es más conveniente la estrategia clásica en la que los almacenes mantienen inventario?
- ¿O quizás conviene enviar los productos directamente de los proveedores a los minoristas?

En lo referido a la **integración** de la cadena de suministro y la relación entre sus miembros:

- ¿Qué información debe compartirse para lograr la integración de todos los miembros?
- ¿Cómo se usará esta información y cómo afecta al diseño de la cadena?
- ¿Qué nivel de integración es necesario dentro de la cadena de suministro?

Cuestiones que deben plantearse sobre el **diseño del producto**:

- ¿En qué casos vale la pena rediseñar productos para reducir los costes logísticos o el lead time?
- ¿Se puede aplazar el diseño final del producto para reducir la variabilidad de demanda de los clientes?
- ¿Se puede cuantificar el ahorro de utilizar esa estrategia?
- ¿Qué rol juega la cadena de suministro en la personalización del producto, cada vez más frecuente?

En cuanto al **valor percibido** por el cliente:

- ¿Cómo medir el valor de cliente?
- ¿Cómo gestionar la cadena de suministro para aumentar el valor de cliente?
- ¿Cómo afectan a la cadena de suministro las nuevas tendencias en el valor de cliente?

Todas estas cuestiones deben plantearse para lograr una cadena de suministro eficiente, pero las decisiones fundamentales que hay que tomar para configurar la red son:

- Determinar el número de almacenes más adecuado.
- Determinar la localización de cada almacén.
- Determinar el tamaño de cada almacén.

- Asignar el espacio a cada producto dentro de cada almacén.
- Determinar qué productos van a recibir los clientes de cada almacén.[5]

## 2.2.4. CONFIGURAR UNA RED DE SUMINISTRO

La configuración de una red de suministro debe seguir tres fases: Recolección de datos, verificación de datos, y optimización de la red de suministro.

### 2.2.4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para configurar una red de suministro se debe recolectar primero una gran cantidad de datos sobre la localización de los clientes, minoristas, almacenes existentes y centros de distribución, instalaciones de fabricación, proveedores, productos (teniendo en cuenta que algunos de ellos, por ejemplo los refrigerados, necesitarán un tratamiento especial en transporte y almacenaje), demanda anual de cada producto por zona, tasas de transporte, costes totales de almacén, tamaños y frecuencias de envío, coste de procesar los pedidos, y nivel de servicio requerido.

Como la cantidad de datos es enorme, el primer paso debe ser la **agregación de datos**:

-Los clientes situados próximos entre ellos se agregan y se tratan como un solo cliente situado en el centro de ellos.

-Los artículos se agregan basándose en patrones de distribución (agrupando aquellos que se recogen en el mismo punto y se entregan a los mismos clientes) o basándose en tipos de producto (agrupando ítems que sólo difieren entre ellos en el tipo de embalaje o tienen pequeñas variaciones de diseño)

Como más adelante se explicará en el punto de Risk Pooling, la agregación de datos de demanda suele reducir la variabilidad de ésta.

El segundo paso es calcular los **costes de transporte**. Las tasas de transporte suelen ser lineales en distancia pero no en volumen. Una práctica habitual es la subcontratación del transporte a empresas que, utilizando una gestión de rutas más eficiente, consiguen disminuir el coste.

Del mismo modo, deben calcularse los costes de almacén, que incluyen tres componentes:

1. **Costes de Manutención**: Es el coste de los trabajos que se desarrollan dentro del almacén.
2. **Costes Fijos**: Son costes no proporcionales al flujo de materiales del almacén. Están relacionados más bien (aunque no de una forma lineal) con el tamaño de éste.
3. **Costes de almacenamiento**: Es el coste de mantener inventario, que es proporcional al nivel de inventario del almacén.



Un parámetro que caracteriza el almacén es la **Rotación del Inventario**.

Se define rotación del inventario como: “Número de veces que se han renovado las existencias (de un artículo, de una materia prima...) durante un período, normalmente un año.” [6]

$$IR = \frac{\text{Ventas a precio de coste}}{\text{Existencias medias}}$$

Este valor constituye un buen indicador sobre la calidad de la gestión de los abastecimientos, de la gestión del stock y de las prácticas de compra de una empresa. No puede establecerse una cifra ya que varía de un sector a otro: Las empresas fabricantes suelen tener índices de rotación entre 4 y 5; los grandes almacenes procuran llegar a 8; y los hipermercados pueden llegar a 25 en algunos artículos del surtido de alimentación. [7]

Para calcular los costes fijos del almacén es necesario estimar la capacidad que necesita el almacén.

De la fórmula del índice de rotación se obtiene que el nivel de inventario medio (existencias medias) son las ventas dividido entre el índice de rotación. Una vez se tiene el inventario medio, se sabe que el espacio de almacenamiento que se requiere es aproximadamente el doble que el requerido para almacenar el inventario medio. Además, en la práctica, los almacenes deben disponer de pasillos para facilitar la manutención de los productos, zonas de picking, zonas para aparcar los vehículos auto-guiados... etcétera, con lo que el espacio requerido suele multiplicarse por un factor (>1). Este factor suele variar según las condiciones específicas del almacén. En la práctica, un factor bastante común es 3. [8]

Para configurar una red de suministro, también es necesario estudiar las **ubicaciones potenciales** para la instalación de nuevos almacenes. Las condiciones que estas ubicaciones deben cumplir son:

- Condiciones geográficas y de infraestructura.
- Disponibilidad de trabajo y recursos naturales.
- Regulación de impuestos e industria local.
- Interés público.

Sólo unas pocas ubicaciones cumplirán todas las condiciones, y para decidir las más idóneas en la que se instalarán los almacenes habrá que tener en cuenta los costes de transporte que conlleva su implantación en la red de suministro.

La distancia de los almacenes a los clientes será determinante para conseguir el nivel de servicio buscado.

El **nivel de servicio** se define como el porcentaje de los pedidos que somos capaces de servir

en el plazo adecuado. [9]

De forma equivalente, suponiendo que el tiempo de transporte aumenta linealmente con la distancia, se puede decir que el nivel de servicio es la proporción de clientes cuya distancia al almacén que se les asigna es menor que una determinada distancia.

Por último, es necesario tener en cuenta que el diseño de la red de suministro es una decisión a nivel estratégico que tiene efectos a largo plazo, por lo que es fundamental tener en cuenta los cambios que puede sufrir la demanda de los clientes durante los años siguientes. Para hacerlo, lo habitual es usar herramientas que ofrezcan varios escenarios según las posibilidades de variación en la demanda.

#### 2.2.4.2. VERIFICACIÓN DE DATOS

La técnica que debe seguirse para verificar los datos y el modelo obtenido, es la de reconstruir la configuración de red usando el modelo y los datos recolectados, y comparar los resultados del modelo con los datos existentes.

Los datos obtenidos del modelo configurado se comparan con la información que maneja la empresa. Esta es la mejor manera de identificar errores en los datos y suposiciones imperfectas. Además, la verificación de los datos no sólo ayuda a calibrar algunos parámetros usados en el modelo (como por ejemplo la capacidad de carga de un camión) sino que también puede sugerir mejoras en el uso de la red existente (aprovechar mejor la capacidad de carga de un camión si ésta se estaba subestimando).

También suele ayudar hacer pequeños cambios en la configuración de la red para ver el impacto que tendría en los costes y en el nivel de servicio. Por ejemplo, eliminar un almacén, permitiría al usuario saber el impacto económico que tiene el cambio en el flujo de productos. De esta manera, el usuario puede conocer qué mejoras podrían conseguirse. [10]

#### 2.2.4.3. TÉCNICAS PARA CONFIGURAR LA RED DE SUMINISTRO

Una vez se han realizado los pasos anteriormente explicados de recolección y verificación de datos; el siguiente paso es la mejora del modelo.

En la práctica se suelen utilizar dos tipos de técnicas:

##### 1. Técnicas matemáticas como:

-Algoritmos que proporcionan soluciones óptimas. Garantizan un coste mínimo aunque su tiempo de procesado y su dificultad es mayor.

-Algoritmos heurísticos, que proporcionan soluciones buenas (sin llegar a ser óptimas) en un tiempo razonable y con mayor simplicidad.

Una gran limitación de estas técnicas matemáticas es que son modelos estáticos, no tienen en cuenta la variación de la demanda con el tiempo y suelen trabajar con la demanda media o anual.

**2. Modelos de simulación** que disponen de un mecanismo para evaluar escenarios. Los parámetros de estos escenarios los introduce el diseñador.

A diferencia de las técnicas de optimización matemática, los modelos de simulación sí que tienen en cuenta los cambios en el sistema para una configuración de la cadena creada por el diseñador.

Por desgracia, los simuladores sólo sirven de ayuda para estimar los costes asociados a una configuración dada y al introducir una nueva configuración de proveedores, fábricas, almacenes, y minoristas el modelo debe reiniciarse. Por lo tanto no se trata de un modelo de optimización sino que analiza el rendimiento de una configuración determinada, pero no puede elegir la configuración óptima entre muchas.

Además, para cada alternativa que se considere se deben introducir una gran cantidad de datos sobre inventarios, patrones de pedido de los clientes, políticas de fabricación y de distribución... etcétera, lo que requiere de mucho tiempo de procesamiento para lograr una solución precisa.

Por lo tanto la duda que surge es: ¿Es más recomendable utilizar técnicas de optimización matemática o modelos de simulación?

La respuesta es que si la variación del sistema no es un aspecto determinante, es más adecuado utilizar técnicas estáticas matemáticas. [11]

En cambio, Hax y Candea [12] proponen que cuando la variación del sistema es un aspecto muy relevante conviene utilizar ambas (algoritmos matemáticos y simulación) de la siguiente manera:

-Primero se utilizará un algoritmo que generará las mejores soluciones posibles.

-Posteriormente, se utilizará un modelo de simulación que evaluará las soluciones generadas en el primer paso.

### 2.2.5. EL EFECTO LÁTIGO

El Efecto Látigo (En inglés Bullwhip Effect) es uno de los causantes de las fluctuaciones que experimenta la proyección de la demanda a medida que se aleja del mercado a lo largo de la Cadena de Suministro, como consecuencia de falta de coordinación y sincronización entre los

agentes intervinientes (Proveedor, fabricante, distribuidor, mayorista, minorista).

Esta situación afecta la planificación estratégica y operativa pretendida por las organizaciones que integran la cadena, en relación a los tiempos de respuesta, capacidad de almacenamiento, administración de los costos logísticos ocultos y procesos de negociación, entre otros aspectos.

[13]

Consideremos una cadena de suministro formada por fábrica, distribuidor, mayorista y minorista. El mayorista recibe órdenes del minorista y pide al distribuidor. Si el mayorista no tiene información de la demanda de los clientes finales que compran en el minorista, deberá hacer sus pronósticos basados en las órdenes del minorista. Como las órdenes del minorista ya tienen cierta variabilidad, ésta aumentará a medida que nos movemos aguas arriba, ya que el mayorista pedirá a su distribuidor con aún más variabilidad por estar basándose en las órdenes del minorista en vez de en las demandas de los clientes últimos.

Este hecho hace que el mayorista deba disponer de más stock de seguridad que el minorista para el mismo nivel de servicio. En cuanto al distribuidor y la fábrica se repite el mismo fenómeno: a medida que se va aguas arriba los pronósticos son menos precisos y se aumentan los niveles de inventario. [14]

#### **Cómo reducir el efecto látigo:**

-Reduciendo la incertidumbre: Si bien resulta imposible eliminar la incertidumbre por completo, puede reducirse usando un sistema de información centralizado. Es decir, que cada eslabón de la cadena de suministro esté constantemente informado de la demanda real de los clientes. Además, será necesario que cada miembro utilice los mismos métodos de previsión de demanda y la misma política de compras.

-Reduciendo la variabilidad: Si se consigue reducir la variabilidad que tiene la demanda de los clientes que compran al minorista, también se reducirá la variabilidad en el mayorista y así sucesivamente hasta llegar al origen de la cadena. Se puede conseguir haciendo que la demanda sea más constante, por ejemplo eliminando promociones. De esta manera las ventas de los productos sufrirán menos variaciones en el tiempo.

-Reduciendo el lead time: El aumento del lead time suele ir ligado al aumento de la variabilidad debido a la dificultad de hacer previsiones más precisas. El lead time está compuesto por el "order lead time" que es el tiempo que conlleva producir y enviar un artículo, y el "information lead time" que es el tiempo empleado en procesar una orden de pedido. El order lead time puede reducirse mediante almacenes cross-dock y el information lead time mediante el uso de sistemas de intercambio de datos.

-Relaciones estratégicas entre los miembros de la cadena de suministro: El uso de un sistema de información centralizado en el que los actores implicados compartan datos puede reducir de forma drástica la variabilidad en las previsiones y por ende disminuir el efecto látigo. [15]

## 2.2.6. COORDINACIÓN DE SISTEMAS E INTEGRACIÓN DE LA CdS

Como se puede observar por la información aportada en los apartados anteriores, la coordinación del sistema es fundamental para lograr resultados positivos en todas las empresas implicadas. Es importante distinguir los conceptos de visión local y visión global. Una empresa con una visión únicamente local tomará decisiones que le lleven a la optimización local, obviando que puede acarrear más costes a toda la cadena de suministro y ser perjudicada a la larga.

Por otro lado, tener un punto de vista global significa tomar las medidas apropiadas para el beneficio de todo el sistema y posteriormente repartirse el beneficio. Es necesario tener una visión global para poder coordinar los sistemas de información y compartir datos de demanda, inventarios, costes de transporte, promociones, etcétera.

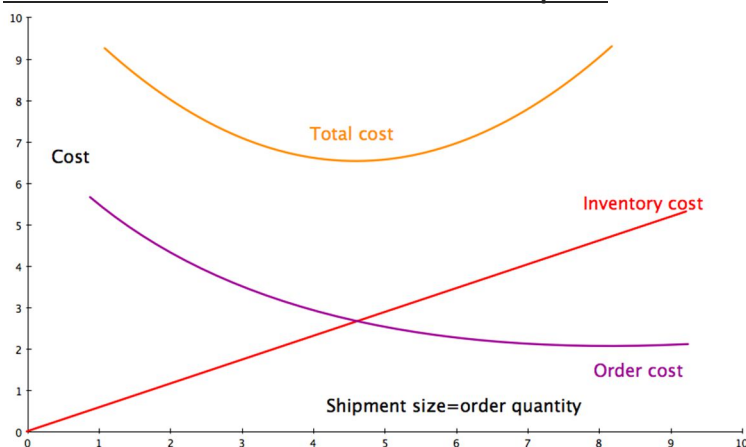
Como se explicó, es probable que varios actores de la cadena de suministro tengan objetivos que entran en conflicto con otros, por eso la visión global es tan importante a la hora de gestionar la cadena.

A continuación se explican una serie de objetivos que tradicionalmente se conciben como conflictivos ya que es difícil conseguir la eficiencia en ambos simultáneamente, es decir, mejorar uno suele implicar perjudicar el otro. Sin embargo, con el paso de los años y el avance tecnológico se está demostrando que muchos de estos “trade-offs” están empezando a dejar de serlo y es posible lograr simultáneamente ambos objetivos.

### Inventario vs. Tamaño de Lote

A los fabricantes les gustaría poder fabricar en grandes cantidades ya que así se reduce el coste de setup por unidad y la fábrica se especializa en un producto concreto. Sin embargo la demanda no suele producirse en grandes cantidades de un producto específico, y emplear tamaños de lote grandes suele implicar un aumento considerable de los niveles de inventario.

### Coste de almacenamiento vs. Coste de transporte



[Figura 1]

Las empresas especialistas en transportes suelen incitar a que sus clientes trabajen con envíos que llenen sus camiones para así reducir los costes de transporte (ya que el coste del camión se reparte entre todos los artículos que contiene).

Sin embargo, en muchas ocasiones la demanda es bastante menor que toda la mercancía que se ha cargado para llenar el camión, por lo que estos productos han de esperar almacenados mucho tiempo hasta que se demanden y el coste de almacenamiento aumenta.

Un método que ayuda a reducir este trade-off es el uso de almacenes cross-dock, donde los camiones pueden llenarse con distintos productos llegados de distintos fabricantes sin tener que forzar la producción de un producto para llenar un camión.

### **Lead time vs. Coste de transporte**

Los costes de transporte son menores cuando los envíos se hacen en grandes cantidades, pero enviar un artículo justo cuando se acaba de fabricar reduce el lead time, ya que no hace falta esperar que se haya terminado de fabricar un lote de artículos suficientemente grande como para llenar el medio de transporte.

Además, el uso de medios de transporte rápidos y caros como el avión son un claro ejemplo de voluntad por reducir el lead time a pesar de un aumento en el coste de transporte. Un envío por barco supone un coste mucho menor pese a un lead time alto.

### **Variación de productos vs. Inventario**

Cuando se fabrica una gran variedad de productos en pequeñas cantidades las empresas se ven obligadas a mantener unos niveles de inventario muy altos debido a que, al haber más variedad, es difícil hacer un pronóstico certero de la demanda que va a tener cada producto y que compiten entre ellos. Al aumentar la incertidumbre de la demanda aumenta la variabilidad, y las empresas se ven obligadas a mantener más stock de seguridad para garantizar el nivel de servicio.

Un método que se suele utilizar para evitarlo es aplazar la personalización de los productos lo máximo posible. Así, la diferenciación entre los productos sólo se produce cuando las previsiones de demanda son más precisas y la empresa no se ve forzada a aumentar tanto el stock de seguridad.

### **Coste vs. Servicio al cliente.**

Los trade-offs anteriores demuestran que no es fácil conseguir una reducción de costes a la vez que un aumento en el servicio al cliente, ya sea en el nivel de servicio o en aquello que el cliente considera valioso.

Una solución para mejorar ambos aspectos a la vez es por ejemplo el método de hacer envíos directos desde el almacén hasta el cliente final. De esta manera, se reducen los costes de inventario ya que éste es mantenido en un almacén central y por tanto se beneficia del Risk Pooling. El cliente en las tiendas puede conocer qué productos están en stock en el almacén

(donde habrá más variedad que si el stock se mantuviese en tienda) y los productos que desee se le enviarán directamente a su dirección sin pasar por el minorista.

Evidentemente los sistemas de información vuelven a jugar un rol importantísimo para que haya una transparencia total sobre el inventario del almacén. [16]

## **2.3. INVENTARIOS**

### **2.3.1. DEFINICIÓN DE INVENTARIO**

El inventario se define, según la RAE como:

“Asiento de los bienes y demás cosas pertenecientes a una persona o comunidad, hecho con orden y precisión”

Y existencias como:

“Bienes poseídos por una empresa para su venta en el curso ordinario de la explotación, o bien para su transformación o incorporación al proceso productivo”

Una definición más adaptada al ámbito de la logística es:

“Conjunto de productos almacenados en espera de su ulterior empleo, más o menos próximo, que permite surtir regularmente a quienes los consumen, sin imponerles las discontinuidades que lleva consigo la fabricación o los posibles retrasos en las entregas por parte de los proveedores.” [17]

### **2.3.2. TIPOS DE INVENTARIO**

Es imprescindible conocer las variedades de inventario y clasificar los productos correctamente, ya que cada tipo de inventario se gestiona de un modo distinto.

A continuación se ofrecen tres clasificaciones del inventario atendiendo a su forma, su función, y su punto de vista logístico.

Los inventarios pueden clasificarse **según su forma** en:

-Inventario de materias primas: Formado por todos los materiales que sirven para elaborar productos y aún no han sido procesados.

-Inventario de productos en proceso de fabricación: Son los bienes que se encuentran en proceso de manufactura.

-Inventario de productos terminados: Lo integran aquellos bienes que ya han finalizado su proceso de transformación y están listos para ser vendidos.

Atendiendo a su **función**, los inventarios pueden clasificarse en:

-Inventario de reserva: Más comúnmente llamado Stock de Seguridad (SS), se utiliza para afrontar incrementos en la demanda o paros inesperados en la producción.

-Inventario de desacoplamiento: Es el que se mantiene entre dos procesos adyacentes cuyas tasas de producción no están sincronizadas.

-Inventario de ciclo: Resulta cuando se fabrican o se compran más unidades de las estrictamente necesarias en ese período para abaratar los costes de fabricación o de compra.

-Inventario de previsión: Este tipo de inventario aparece principalmente en productos de demanda estacional. Lo integran los productos que se fabrican y se acumulan de más en períodos de demanda baja para afrontar los próximos períodos de demanda alta. [18]

Según el **punto de vista logístico**, los inventarios pueden clasificarse en:

-Inventario en tránsito: Son los productos que se encuentran fluyendo entre niveles de la cadena de suministro.

-Existencias para especulación: Se mantienen para obtener beneficio con las fluctuaciones de su precio.

-Existencias de naturaleza regular o cíclica: Destinados a satisfacer la demanda promedio durante el tiempo de reaprovisionamientos sucesivos.

-Existencias de seguridad: Puede crearse como protección contra la variabilidad de la demanda y el tiempo de reaprovisionamiento.

-Existencias obsoletas, muertas o perdidas: Se trata de existencias deterioradas, caducadas o perdidas. [19]

### 2.3.3. CLASIFICACIÓN ABC DE INVENTARIOS

La clasificación de los inventarios según el método ABC se basa en el Principio de Pareto. Vilfredo Pareto, sociólogo y economista italiano afirmó en 1987 que el 20% de la población ostentaba el 80% del poder económico y político, mientras que el 80% se repartía el 20% restante de la riqueza y la influencia política.



Este principio se ha aplicado a economía y a gestión de inventarios, dando lugar a la clasificación ABC que divide el inventario en tres categorías:

**-Artículos de Tipo A:** Son los más valiosos y los que representan la menor proporción del inventario total. Aunque los porcentajes que se le asignan varían según los investigadores, se suele decir que representan el 75% del valor del inventario total y lo forman el 20% de los artículos. Algunos autores incluyen un subgrupo dentro de esta categoría: los artículos de tipo súper-A, que son los más valiosos dentro de los Tipo A y por tanto los más valiosos de todo el inventario.

**-Artículos de Tipo B:** Son artículos con un valor de consumo medio, generalmente de un 20% y constituyen aproximadamente el 30% del inventario total.

**-Artículos de Tipo C:** Representan el 50% del inventario total pero tienen un valor de consumo muy bajo, de un 5% aproximadamente.

La clasificación ABC debe servir a los gestores para darse cuenta de que vale la pena centrar sus esfuerzos en algunos productos (los de tipo A) en vez de tratar a todos por igual.

Estos artículos merecerán mejores mecanismos para el control de existencias y un pronóstico de ventas más preciso, ya que las consecuencias de la falta de existencias para servir un pedido (situación de “stockout” o rotura de stock) pueden ser más perjudiciales si este artículo es de tipo A. Al ser artículos de alta rotación, es conveniente ubicarlos en las zonas más accesibles del almacén.

En cambio, los artículos Tipo C, al ser de rotación baja pueden acarrear poco beneficio y mucho coste de almacenamiento. Por tanto es necesario replantearse siempre si vale la pena almacenarlos o si es posible tenerlos en cantidades menores.

### 2.3.4. RAZONES PARA ALMACENAR

A continuación se explican los motivos principales por los que es conveniente almacenar productos:

**-Protección contra cambios inesperados en la demanda.**

Esta es la razón principal por la que la mayoría de empresas mantienen inventario.

Siempre ha sido difícil elaborar previsiones precisas de la demanda, pero recientemente lo es aún más debido al incremento de la variabilidad de la demanda de los clientes causado por:

1. Reducción del tiempo de vida de muchos productos. Los registros históricos pierden relevancia porque se dan nuevas condiciones.

2. Aumento del número de productos competidores en el mercado. La proliferación de productos similares dificulta la previsión de demanda que va a tener un producto concreto porque los clientes disponen de un rango amplio de opciones.

**-Protección contra la variabilidad del suministro.**

La empresa puede almacenar para protegerse contra la posibilidad de que sus proveedores no le suministren la cantidad adecuada, los productos que le suministran no tengan la calidad acordada, o los tiempos de entrega sean mayores que los previstos. [20]

**-Disminuir los costes de transporte**

Las empresas de transporte incentivan a sus clientes (en ocasiones mediante descuentos) para llenar sus medios de transporte por la rentabilidad que les supone. Este hecho implica almacenar grandes cantidades para hacer envíos grandes.

**-Aprovechar los descuentos de los proveedores**

También a la hora de comprar, los proveedores suelen ofrecer descuentos a las empresas que lo hacen en grandes cantidades, lo que hace que la empresa que compra se vea obligada a inventariar los productos que no va a vender.

**-Disminuir el coste de aprovisionamiento**

Pedir pocas veces grandes cantidades implica un coste menor que pedir muchas veces pocas cantidades.

**-Especular**

Las empresas pueden comprar productos en el momento acertado (cuando su precio es bajo). Los productos se pueden almacenar y vender en el momento en que su precio sea mayor para obtener beneficio.

### 2.3.5. TIPOS DE ALMACENES

Aunque pueden clasificarse también según sus existencias y según su relación el flujo de producción, a continuación se ofrece la clasificación según su localización y según su función logística, ya que se consideran más relevantes en el contexto de este trabajo.

Según su localización:

**-Almacenes centrales:** Localizados lo más cerca posible del centro de fabricación para reducir

al mínimo los costes. Su misión es aprovisionar los almacenes regionales. Deben estar preparados para la manipulación de unidades de carga de grandes dimensiones.

**-Almacenes regionales:** Deben estar ubicados lo más cercano posible al punto de mayor consumo de la región o zona de influencia, que no debe de tener rutas de distribución superiores a una jornada. Debe permitir la carga y descarga para camiones de gran tonelaje y para camiones de distribución al cliente de menor capacidad. [21]

Según su función logística:

**-Centro de consolidación:** Son almacenes que agrupan los productos que reciben de múltiples proveedores para servirlos a uno o unos pocos clientes.

**-Centro de ruptura:** Tienen la función inversa a los centros de consolidación. Reciben la mercancía de un número reducido de proveedores para desagruparla y servirla a un gran número de clientes. Reducen el número de contactos de los fabricantes con los clientes finales y reducen el movimiento de los clientes que únicamente han de acudir a un centro de ruptura para recoger múltiples productos. La mayor simplicidad de estos dos sistemas hace que en la práctica, empresas con múltiples proveedores y múltiples clientes (como los sistemas de distribución) desagrupen las funciones pasando a tener un centro de consolidación para el aprovisionamiento y un centro de ruptura para la distribución.

**-Centro de tránsito:** También conocidos como centros cross-dock (en inglés), son almacenes donde no hay colocación de la mercancía ni operaciones de picking. Su función es consolidar mercancías que vienen de distintos proveedores y permite hacer cambios en la unidad de carga de la mercancía y en los medios de transporte. [22]

### 2.3.6. SISTEMAS DE ALMACENAJE

Los métodos de almacenaje son [23][24]:

**LIFO** (Last in first out): Los últimos artículos en entrar son los primeros en salir.

**FIFO** (First in first out): Los primeros artículos en entrar son los primeros en salir.

**FEFO** (First expires first out): Los artículos que caducan antes son los primeros en salir. A igualdad de fechas de caducidad se utiliza FIFO. Es el método ideal para alimentos y productos perecederos.

### 2.3.7. FACTORES QUE AFECTAN A LA POLÍTICA DE INVENTARIOS

Los aspectos que se deben tener en cuenta para llevar una política de inventarios adecuada son los siguientes:

-La demanda del cliente. Puede ser conocida o aleatoria. En caso de ser aleatoria, deben emplearse herramientas de previsión y datos históricos para estimarla.

-Lead Time, definido como “el tiempo que transcurre desde que se inicia un proceso de producción hasta que se completa, incluyendo normalmente el tiempo requerido para entregar ese producto al cliente.” [25]

Puede ser estocástico o determinístico. Se dice que una variable es estocástica cuando tiene cierto grado de aleatoriedad. En cambio, es determinista si su valor está determinado por otros previos, sin la más mínima influencia del azar.

-El número de productos diferentes en el almacén

-La longitud del horizonte de planificación.

-Los costes. Tanto el coste de pedir como el coste de mantener inventario.

El coste de pedir está compuesto por el coste del producto y de su transporte.

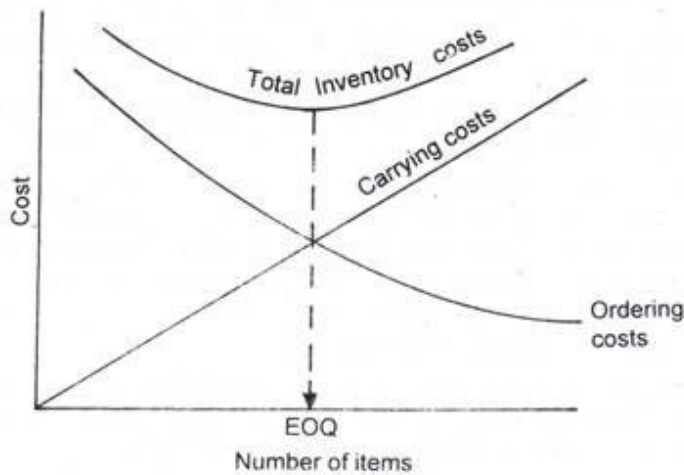
El coste de mantener inventario puede desglosarse en impuestos, seguros, mantenimiento, coste de obsolescencia (el artículo pierde valor debido a cambios en el mercado) y costes de oportunidad.

-Nivel de servicio requerido. Cuando la demanda de los clientes es variable resulta imposible conseguir un nivel de servicio del 100%. La dirección debe asumir un nivel de servicio aceptable. [26]

### 2.3.8. MODELO DEL TAMAÑO DE LOTE ECONÓMICO (EOQ)

Una parte fundamental de la gestión de inventarios es la política de aprovisionamiento, y es en esta sección donde aparece la cuestión clave: cuánto pedir. Para hallar el tamaño óptimo de pedido se suele utilizar el modelo del lote económico:

En el modelo del lote económico se tiene por objetivo encontrar el tamaño de lote en que el coste total de inventario es mínimo. Por las características de las curvas, este hecho sucede cuando el coste de emitir una orden de pedido y el coste de mantener inventario se igualan.



[Figura 2]

El tamaño de lote económico es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

- Siendo la demanda diaria constante en "D" artículos por día.
- K son los costes de "setup", es decir, el coste fijo de hacer una orden.
- h es el coste de mantener inventario, medido por unidad de artículo y por día que se mantiene.
- El tiempo entre que se manda una orden y se recibe (lead time) es cero.
- El inventario inicial es cero.
- El horizonte de planificación es infinito.

### 2.3.9. RISK POOLING

Un concepto básico que se aplica y que es necesario para la comprensión del trabajo es el de 'Risk Pooling' o en castellano 'mancomunación del riesgo', centrándose en el riesgo producido por la variabilidad de demanda y los efectos que ésta tiene en el almacenamiento.

El libro "Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications" (2010), de Gerald Oeser, hace una precisa demostración matemática de que la agregación de variabilidades produce una variabilidad agregada que siempre es menor o igual que la suma de variabilidades por separado. A esta agregación de variabilidades se le conoce como Risk Pooling o Inventory Pooling.

Como se explicó en el apartado de tipos de inventarios, el stock de seguridad sirve para afrontar la variabilidad de la demanda. Por lo tanto, si se emplea una variabilidad agregada más reducida, se necesitará menor stock de seguridad y los costes de almacenamiento bajarán. Un sistema de almacenamiento centralizado que agregue las variabilidades de demanda acarreará por tanto un coste de almacenamiento menor que un sistema descentralizado.

Si cada almacén abastece su propia demanda, el stock de seguridad total que debe mantenerse en el sistema es:

$$SS = Z \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Siendo “z” el coeficiente asociado al nivel de servicio requerido, el sumatorio desde i = 1 hasta n (número de almacenes), y  $\sigma_i$  la desviación típica de la demanda de cada almacén.

En cambio, si se centraliza el almacenamiento en un solo almacén, el stock de seguridad es:

$$SS_c = Z \sigma_a$$

Siendo la variabilidad agregada:

$$\sigma_a = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{i<j}^n \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}^{109}$$

[Fórmula 1]

Donde  $\rho_{ij}$  es el coeficiente de correlación entre las demandas en los almacenes i y j. Va desde -1 si las dos demandas están totalmente correlacionadas negativamente, hasta +1, si lo están positivamente, es decir, siempre que aumenta una lo hace la otra en igual medida.

Se demuestra matemáticamente que en un sistema centralizado el stock de seguridad es siempre menor o igual que en un sistema descentralizado.

$$SS = Z \sum_{i=1}^n \sigma_i \geq SS_c = Z \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{i<j}^n \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}$$

[Fórmula 2]

El signo mayor o igual indica que el Risk Pooling puede (pero no garantiza) reducir el stock de seguridad manteniendo el mismo nivel de servicio.

Existen dos situaciones en las que agregar las variabilidades de demanda no proporcionaría una variabilidad agregada menor y por tanto los efectos del Risk Pooling serían inútiles. Las dos

situaciones son:

1-Si las demandas están totalmente correlacionadas positivamente. En ese caso, los parámetros  $\rho_{ij}$  serían igual a 1.

2-Si la desviación típica de la demanda de al menos n-1 almacenes es igual a 0. En ese caso, la variabilidad agregada sería igual a la variabilidad de la demanda en el almacén cuya desviación típica es distinta de 0.

$$\sigma = \sigma_i = \sigma_d$$

Salvo estas dos excepciones, el método de Risk Pooling siempre proporcionará menor Stock de Seguridad para afrontar la demanda, y lo hará en mayor medida cuanto más negativa sea la correlación entre las demandas.

El método de Risk Pooling se fundamenta en la teoría de que al tener varios pronósticos de demandas con incertidumbre, las previsiones al alza de unas suelen compensar las previsiones a la baja de otras, de esta manera agregando variabilidades se obtendrá un pronóstico más preciso de la realidad.

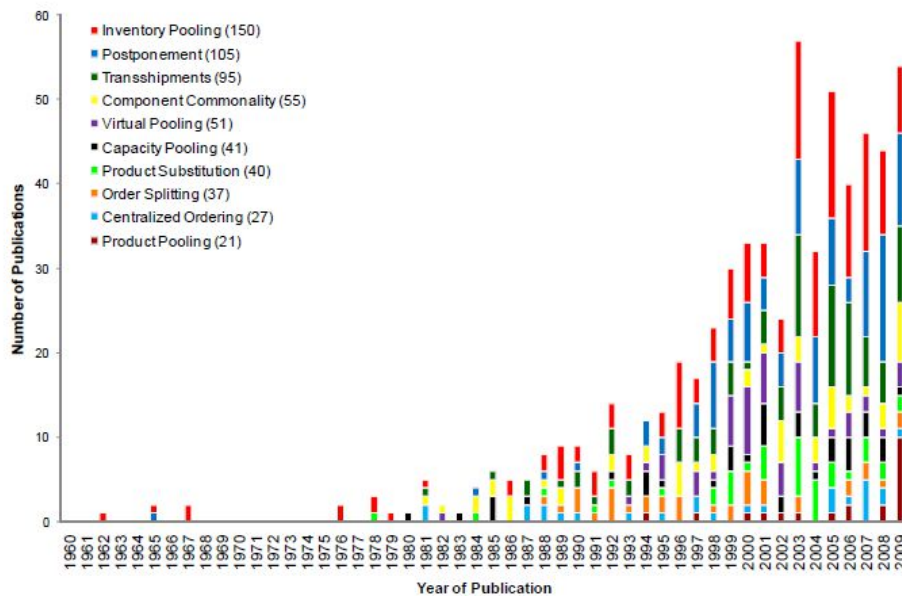
Se puede concluir que:

-Gracias al Risk Pooling, centralizar el inventario reduce el stock de seguridad en el sistema manteniendo el nivel de servicio, o aumenta el nivel de servicio manteniendo el mismo nivel de inventario.

-Cuanto mayor sean las variaciones de las demandas, mayores son los efectos del Risk Pooling y por tanto más conveniente es la centralización del inventario.

-Cuanto más negativa sea la correlación entre las demandas, mayores son los efectos del Risk Pooling, y obviamente también convendrá centralizar el inventario. [27]

El libro “Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications” muestra la siguiente gráfica sobre cómo ha cambiado el número de publicaciones sobre el concepto de Risk Pooling a lo largo de la historia:



[Figura 3]

Como se puede apreciar, las publicaciones sobre el concepto de Risk Pooling (o en nuestro caso más precisamente, Inventory Pooling) han tenido un gran crecimiento durante los 80 y 90, alcanzando su pico en 2003 y, tras un período de bonanza en el que disminuyen las publicaciones sobre el concepto, vuelve a tomar fuerza con el inicio de la reciente crisis económica, lo que demuestra la intención de las empresas en buscar métodos de reducción de costes en períodos menos prósperos.

### 2.3.10 IMPORTANCIA DE LA INFORMACIÓN

Disponer de información proporciona una gran oportunidad para gestionar y diseñar la cadena de suministro de manera más eficiente. Tener información abundante:

- Ayuda a reducir la variabilidad en la cadena de suministro.
- Ayuda a los proveedores a hacer pronósticos más precisos que tienen en cuenta los cambios en el mercado y las promociones.
- Hace que los minoristas puedan reaccionar y adaptarse a los problemas de suministro más rápidamente.
- Ayuda a reducir los lead times. [28]

Uno de los problemas más frecuentes que afrontan las cadenas de suministro es el conocido como “Efecto Látigo”. A continuación se explica en detalle y se argumenta por qué la información compartida entre los miembros de una cadena de suministro es tan importante para reducirlo.



## 2.4. TRANSPORTE

### 2.4.1. ESTRATEGIA DIRECT SHIPPING

La estrategia de Direct Shipping o en castellano “envíos directos” es una técnica en la que la mercancía se envía directamente desde la fábrica al cliente sin pasar por un almacenamiento intermedio.

Las principales **ventajas** de esta estrategia son:

- La eliminación de almacenes intermedios y la simplicidad de la red de suministro, que requiere una coordinación más sencilla.
- Al no almacenar se produce un ahorro en costes de alquiler de instalaciones, personal y nóminas.
- Reducción del tiempo de envío ya que la mercancía no realiza paradas intermedias.
- Menor proporción de productos dañados ya que están en contacto con menos intermediarios (menos manipulación).
- Se incrementa el contacto directo con el cliente. Usando Direct Shipping, el fabricante interactúa con el cliente y tiene más interés en su satisfacción que la que pueda tener un intermediario.
- Se tiene más control sobre los productos. Un fabricante que usa esta estrategia conoce cómo se promocionan sus productos mejor que si pasara por minoristas, donde se tienen cientos o miles de otros productos que también tienen que promocionarse y venderse.

Y los **inconvenientes** del Direct Shipping son:

- Si el envío va directo de fábrica a minorista, el personal de tienda tiene que encargarse de más trabajo de papeleo y de carga y descarga
- Se sigue necesitando stock de seguridad por el riesgo de que el proveedor envíe producto dañado, haga envíos erróneos o haya retrasos en el transporte.
- En una cadena de suministro cada miembro está especializado en una labor, y el fabricante no suele estar familiarizado con tareas de marketing para colocar su producto en el mercado, que corresponde más a un trabajo de los minoristas. Con la estrategia de Direct Shipping este trabajo le corresponde también al fabricante. [29] [30] [31]

### 2.4.2. TRANSPORTE “FULL TRUCK-LOAD” Y “LESS THAN TRUCK-LOAD”

En lo que refiere al aprovechamiento de la capacidad de los camiones con los que se realiza el transporte de mercancía, se puede seguir una estrategia FTL (full truck-load) o LTL (less than truck-load).

Operar a FTL significa hacer envíos en los que el cliente llena la totalidad del camión con sus artículos, mientras que se opera a LTL si la carga del camión está formada por artículos de distintas empresas cuyos envíos no llenarían la totalidad del camión, es decir, con la estrategia LTL se combinan envíos de distintos clientes.

Una ventaja de trabajar a FTL es que la carga permanece en el camión todo el trayecto desde el punto de origen al de destino sin sufrir operaciones extraordinarias de carga, descarga, o recolocación, mientras que operando a LTL se realizan paradas intermedias para recoger la mercancía de otros clientes. Estas paradas implican un mayor tiempo de envío que si se utiliza la técnica full truck-load, por lo que para productos de demanda alta es más conveniente operar a FTL por la rapidez de los envíos.

Si la mercancía que se desea transportar es delicada y no se desea correr el riesgo de mezclarla con la de otros clientes lo más recomendable es utilizar la estrategia FTL ya que los productos recibirán un cuidado especial y no corren el riesgo de dañarse con mercancía ajena.

Por otra parte, la estrategia LTL consolida productos de distintos clientes para reducir el coste de transporte aprovechando la capacidad del camión al máximo. Es una técnica ideal para empresas que realizan envíos pequeños. Los costes del transporte se dividirán entre las empresas cuyas cargas ocupan el camión proporcionalmente al espacio ocupado y a la distancia recorrida por su carga.

El principal inconveniente de la estrategia LTL es que durante el transporte se realizan varias paradas para cargar y descargar mercancía, por lo que se tarda más tiempo en llegar al punto de destino.

En la mayoría de casos, los conductores comienzan la jornada cargando y salen a realizar las entregas. Una vez el tráiler se ha vaciado empiezan la recolección de mercancía y se vuelve a la terminal para clasificar las entregas del día siguiente. Por tanto, la mayoría de entregas se realizan por la mañana y las recolecciones por la tarde. [32]

Los factores que hay que considerar para elegir entre una estrategia FTL y LTL son:

<b>Factores a considerar</b>	<b>Full truck-load (FTL)</b>	<b>Less than truck-load (LTL)</b>
<b>Tamaño del envío</b>	Adecuada para envíos grandes	Adecuada para envíos pequeños
<b>Presupuesto</b>	Requiere de más presupuesto	Requiere un presupuesto menor
<b>Rapidez con la que se ha de realizar el envío</b>	Envíos rápidos	Envíos más lentos
<b>Fragilidad de la mercancía</b>	Adecuado para mercancía que se daña con facilidad o es sensible a la temperatura.	No adecuado para mercancía frágil y fácilmente dañable.

### 2.4.3. ESTRATEGIA CROSS-DOCKING.

Se han ido mencionando varias estrategias de distribución, entre ellas, la más habitual, es la de mantener **inventario en almacenes** que abastecen a los clientes con los productos que demandan.

Sin embargo, también es posible hacer **envíos directos** desde el proveedor hasta los minoristas sin pasar por ningún almacén o centro de distribución. Las principales ventajas de este sistema son el ahorro en el coste de operar un centro de distribución y la reducción de lead times. Un inconveniente es que no se obtienen beneficios de risk pooling ya que no se mantiene inventario en un almacén central. Además, los costes de transporte aumentan porque el fabricante tiene que hacer más envíos, a más distancia, a más localidades, y en camiones más pequeños.

Por lo tanto, el sistema de envíos directos es conveniente sólo cuando tener un lead time bajo es crucial (por ejemplo en productos perecederos) y cuando los minoristas requieren la mercancía en cantidades suficientes para trabajar a tráiler completo.

Por último, la estrategia **Cross-Docking** consiste en usar los almacenes como puntos para coordinar los inventarios en vez de instalaciones para el almacenamiento. Generalmente, en los sistemas Cross-Docking el fabricante envía los productos al almacén y enseguida se cargan a los vehículos para enviarlos a los minoristas. El tiempo que suelen pasar los productos en los almacenes cross-dock suele ser menor de 12 horas.

Las complicaciones que tiene el uso de una estrategia Cross-Docking son:

- Los centros de distribución, minoristas y proveedores deben estar conectados con sistemas de información avanzados para asegurar que las recepciones y los envíos se realizan en los plazos adecuados.

- Se necesita un sistema de transporte rápido y con capacidad de respuesta.

- Se necesita compartir la información porque las previsiones son determinantes.

- La estrategia cross-docking sólo es efectiva en grandes sistemas de distribución que disponen de una gran cantidad de vehículos y hay actividad continua recogiendo y enviando productos. La demanda debe ser suficientemente grande para que los artículos que llegan al almacén cross-dock puedan ser enviados inmediatamente a los minoristas a tráiler completo.

## 2.5. COMPARATIVA: CENTRALIZACIÓN vs DESCENTRALIZACIÓN DE INVENTARIOS

Se han explicado los conceptos clave para entender el funcionamiento de una cadena de suministro y el impacto en costes que tiene la toma de decisiones sobre su configuración. Así pues, a continuación se muestra una comparación entre los sistemas de inventario centralizado y descentralizado. Se demuestra que el sistema idóneo dependerá de muchos factores y condiciones de las empresas involucradas y de las ventajas competitivas que las empresas quieran adquirir.

	<b>CENTRALIZADO</b>	<b>DESCENTRALIZADO</b>
<b>1. STOCK de SEGURIDAD</b>	Menor	Mayor
<b>2. GASTOS INTERNOS DEL ALMACÉN</b>	Menores	Mayores
<b>3. ECONOMÍAS DE ESCALA</b>	Aplicables	No aplicables
<b>4. LEAD TIME</b>	Más alto	Más bajo
<b>5. NIVEL DE SERVICIO</b>	Con el mismo nivel de inventario, más alto.	Con el mismo nivel de inventario, más bajo.
<b>6. COSTES DE TRANSPORTE</b>	Depende	Depende
<b>7. TOMA DE DECISIONES</b>	Basadas en una visión global	Basadas en una visión local
<b>8. INFORMACIÓN</b>	Información más accesible	Deben usarse métodos para compartir la información
<b>9. TRANSBORDOS DE PRODUCTOS</b>	No aplicables	Aplicables

<b>10. DESCUENTOS DE PROVEEDORES</b>	Aplicables	No aplicables
<b>11. DUPLICIDADES</b>	No	Sí

- 1. Stock de Seguridad:** Los sistemas de inventario centralizado pueden beneficiarse de los efectos del Risk Pooling. Como se ha demostrado, trabajar con la variabilidad agregada unificando las variabilidades de las demandas implica el uso de un stock de seguridad menor. Así, al necesitarse menos inventario total, se puede concluir que el coste de almacenamiento es casi siempre menor en sistemas centralizados.
- 2. Gastos internos del almacén:** Cuanto mayor es el número de almacenes mayor son los gastos internos totales, ya que un solo almacén grande acarrea menor gasto en electricidad, mantenimiento, limpieza, equipos que varios almacenes que sumasen una capacidad equivalente.
- 3. Economías de escala:** El uso de economías de escala consiste en aprovechar la disminución del coste unitario gracias a la expansión. El uso de un sistema de inventario centralizado hace que todos los costes del almacén se dividan entre un gran número de productos, obteniendo un coste unitario relativamente pequeño en comparación con el obtenido en un sistema descentralizado, donde los almacenes son más pequeños y contienen menos productos.
- 4. Lead Time:** El lead time es menor en los sistemas descentralizados porque se tienen almacenes más cerca de los clientes. Cada almacén puede satisfacer la demanda de una región concreta y hacer un transporte mucho más rápido que en un sistema centralizado.
- 5. Nivel de Servicio:** El Risk Pooling puede proporcionar un stock de seguridad más bajo manteniendo el mismo nivel de servicio o bien aumentar el nivel de servicio para un nivel de inventario fijo. Los sistemas de inventario centralizados son los que se benefician del Risk Pooling.
- 6. Costes de Transporte:** Este punto depende principalmente de dónde estén localizados los almacenes. Por una parte, con un sistema de inventario centralizado se saca ventaja de que los envíos se producen en volúmenes mayores (economías de escala aplicables) y el coste unitario es menor. Por otro lado, un almacén centralizado implica estar a mayor distancia de los clientes y esto acarrea un coste de transporte mayor

para llegar a los clientes, especialmente si los envíos de almacén a minoristas se realizan en medios de transporte más caros o los envíos son en pequeñas cantidades.

- 7. Toma de decisiones:** Una gestión del inventario centralizada permite tener una visión global del sistema, es decir, tomar decisiones en beneficio de todos los actores implicados en la cadena de suministro. En cambio, con el sistema descentralizado se tiene una visión local que puede conducir a la toma de decisiones basadas únicamente en la optimización local, es decir, que no tienen en cuenta el impacto que pueden tener en otros miembros de la cadena de suministro.
- 8. Información:** Los sistemas descentralizados dificultan el control de la información, ya que cada instalación puede disponer de una base de datos independiente. Con los sistemas centralizados es más fácil compartir la información con todos los miembros de la cadena de suministro y utilizarla correctamente para reducir el efecto látigo y mejorar las previsiones de demanda.
- 9. Transbordos de productos:** Los sistemas descentralizados pueden aprovecharse del transbordo de productos, esto es, el envío de productos entre instalaciones de un mismo escalón de la cadena de suministro. Suele darse cuando el inventario es mantenido en los minoristas. Para aplicarse, se debe disponer de un sistema de información avanzado donde cada minorista sea consciente de los niveles de inventarios de los demás. Así, los minoristas que sufran algún problema en sus niveles de inventario ya sea debido a una previsión de demanda errónea o a un fallo en su suministro podrán abastecerse de otros minoristas.
- 10. Descuentos de proveedores:** Si empleamos un único almacén éste se encargará de servir a todos los minoristas por tanto las entradas deberán ser en grandes cantidades. A los proveedores les interesa entregar grandes volúmenes por eso suelen ofrecer incentivos. Un sistema de inventario centralizado puede beneficiarse de ello.
- 11. Duplicidades:** Un sistema descentralizado implica tener duplicidades ya que cada almacén necesita su propio personal, medios de manutención, medios de gestión, licencias, y muchos otros factores que hacen que resulte menos costoso centralizar el almacenamiento.

## 2.6. CONCLUSIONES

Una vez comprendida la complejidad de una cadena de suministro y la gran cantidad de factores que influyen en su diseño, se hace patente la necesidad de que las empresas dispongan de herramientas que les ayuden a conocer de antemano el impacto económico que tendrá cada decisión que tomen respecto a su configuración.

El diseño de la cadena de suministro estará determinado en gran medida por la estrategia de almacenamiento que se desee emplear. Como se ha explicado, existe una amplia variedad de posibilidades para gestionar el inventario, como utilizar centros de distribución en los que los productos no se almacenan sino que coordinan pedidos (estrategia cross-docking), hacer envíos directos de fábrica a minoristas (direct shipping), o usar la estrategia convencional de almacenar productos en almacenes intermedios. En este último caso, es fundamental tener en cuenta el impacto que tendrá el grado de centralización/descentralización del inventario.

Los efectos del Risk Pooling incitan a centralizar el inventario, ya que la agregación de variabilidades en la demanda proporciona una variabilidad agregada siempre menor, excepto en dos casos en los que sería igual (si las demandas estuvieran correlacionadas de forma totalmente positiva, y si las variabilidades de al menos  $n-1$  almacenes fueran nulas). Este hecho implicaría una reducción del Stock de Seguridad y por tanto una reducción en el coste de almacenamiento. Sin embargo, se ha podido ver que aunque la centralización suele reducir el coste de almacenamiento, puede también aumentar otros costes como los de transporte o aumentar el lead time.

De ahí la importancia de tener una visión global que considere cómo repercute cada decisión en todos los costes y en cada actor de la cadena de suministro.

La información y la comunicación constante son factores clave para hacer efectiva la perspectiva global y conseguir la integración de las empresas para reducir el efecto látigo mediante la reducción de variabilidades, de incertidumbres, o del lead time.

Por otra parte, las empresas deben utilizar técnicas de optimización para mejorar la configuración de su cadena de suministro, ya sea mediante técnicas matemáticas (algoritmos) o mediante modelos de simulación.

Este trabajo pretende mostrar mediante modelos de simulación el impacto económico que tiene el grado de centralización/descentralización del almacenamiento. El principal inconveniente respecto a las técnicas matemáticas es que los modelos de simulación trabajan con una configuración predeterminada y requieren de mucho tiempo para reconfigurar el sistema. Sin embargo, tienen la gran ventaja de permitir al usuario introducir parámetros como la demanda y de esta manera se podrán simular escenarios para ver cómo evolucionaría

el sistema si se dan esos cambios en los parámetros.

Pese a todos los trabajos de investigación realizados y todos los softwares de simulación desarrollados, el hecho de que la demanda del último cliente sea imposible de prever con exactitud, la evolución constante de los mercados y el imparable desarrollo tecnológico hacen que siempre vaya a ser un reto alcanzar una cadena de suministro más eficiente.



### **3. CÁLCULO DEL IMPACTO DE LA CENTRALIZACIÓN Y LA DESCENTRALIZACIÓN DE INVENTARIOS. CASOS DE ESTUDIO.**

A continuación se plantean y se resuelven cuatro problemas para evaluar el impacto de la centralización y la descentralización de inventarios en la cadena de suministro. Los resultados de cada caso de estudio se analizan y se extraen conclusiones. Los casos de estudio son:

3.1. CASO DE ESTUDIO 1: Simulación del impacto económico de la centralización y descentralización de inventarios en una cadena de suministro compuesta por una fábrica, “n” almacenes (siendo  $n=1, 2$  ó  $3$ ) y diez minoristas.

3.2. CASO DE ESTUDIO 2: Simulación del impacto económico de rediseñar una cadena de suministro con la estrategia Cross-Docking.

3.3. CASO DE ESTUDIO 3: Estrategias para mejorar el nivel de servicio.

3.4. CASO DE ESTUDIO 4: Simulación de costes de transporte con la estrategia de “Direct Shipping” y las técnicas de Full truck-load y Less than truck-load.

#### **3.1. CASO DE ESTUDIO 1**

##### **Simulación del impacto económico de la centralización y descentralización del inventario en una cadena de suministro compuesta por una fábrica, “n” almacenes (siendo $n=1, 2$ ó $3$ ), y diez minoristas.**

3.1.1. OBJETIVO

3.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

3.1.3. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

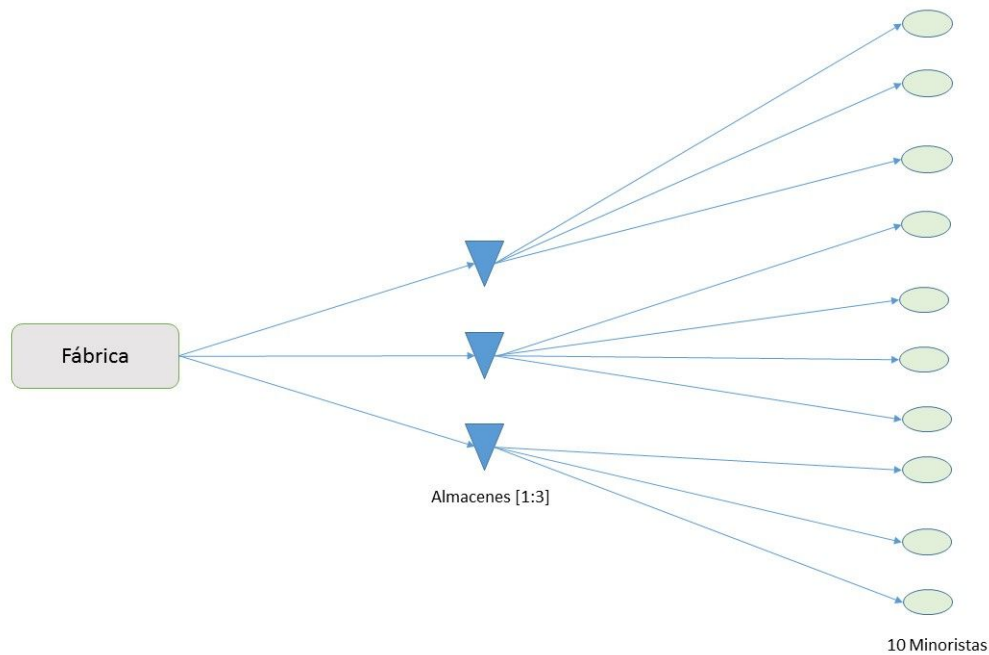
3.1.4. MODELO ESTUDIADO

3.1.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

3.1.6. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

##### **3.1.1. OBJETIVO**

El objetivo de este caso de estudio es que el usuario de la herramienta presentada pueda conocer el impacto económico que tiene la decisión de utilizar uno, dos, o tres almacenes para servir a diez minoristas.



### 3.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El problema se plantea para conocer de qué manera afecta la centralización del inventario al coste total. Para el cálculo del coste total se sumará el coste de almacenamiento y el de transporte. En el modelo estudiado, la mercancía se produce en fábrica y se envía a los almacenes existentes (uno, dos, o tres según el valor que introduzca el usuario). Este traslado de mercancía conlleva un coste de transporte. El paso de la mercancía por los almacenes supondrá un coste de almacenamiento. Posteriormente será enviada a los minoristas, lo que supondrá más coste de transporte.

Es necesaria la utilización de una hoja de cálculo porque los resultados dependerán de una serie de variables (localización de las instalaciones, valores de demanda, costes por kilómetro de los medios de transporte, etcétera). Como se explica en el capítulo de Risk Pooling (apartado 2.4.9. del Estado del Arte, página 18) la centralización de inventarios en un único almacén proporciona una reducción en los costes de almacenamiento. Para comprobarlo, en la resolución del problema se aplicará el concepto de Risk Pooling en el cálculo de la variabilidad agregada en el caso de inventario centralizado (Escenario  $n=1$ ). Además, se verá en qué medida afecta la utilización de uno, dos, o tres almacenes a los costes de transporte, para comprobar cuál de las tres configuraciones conlleva un menor coste total. En el modelo, cada minorista recibe mercancía únicamente del almacén más cercano a él, así que es de suponer que el uso de un mayor número de almacenes probablemente reduzca el coste de transporte porque hay más posibilidades de que los minoristas tengan un almacén más cercano.

A continuación se evaluarán estas hipótesis utilizando una hoja de cálculo Excel y simulando escenarios con distintos parámetros.

### 3.1.3. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

La herramienta utilizada es una hoja de cálculo Excel en la que el usuario puede introducir las siguientes variables:

-Coste unitario de almacenar (h); €/ud.día

-Número de almacenes (n): El usuario podrá simular el impacto económico que tendría utilizar un solo almacén (inventario centralizado) introduciendo  $n=1$ , usar dos almacenes ( $n=2$ ), o usar tres ( $n=3$ ).

-Nivel de servicio: Se introducirá un nivel de servicio desde el 50% hasta el 99,99%, la hoja de cálculo encontrará el factor Z correspondiente a ese nivel de servicio para calcular el Stock de Seguridad mediante la función "BUSCAR" en la tabla de los distintos niveles de servicio y sus factores (Ver Anexo 1)

-Coste por kilómetro recorrido con camión (€/km). Se considera que los traslados de mercancía de fábrica a almacén se realizan con camiones.

-Coste por kilómetro recorrido con furgoneta (€/km). Se considera que los traslados de mercancía de almacén a minorista se realizan con furgonetas.

-Localización de cada instalación. El usuario puede introducir las coordenadas (x, y) de la fábrica, de cada almacén y de cada minorista de acuerdo con la localización real de cada instalación en su cadena de suministro.

-Valor esperado de la demanda en cada minorista (uds. de demanda diaria)

-Variabilidad de la demanda esperada en cada minorista (uds. al día)

-Coeficientes de correlación de mercados: Se pueden introducir los valores comprendidos entre -1 y 1 que expresen el grado de correlación existente entre las demandas de los minoristas, siendo -1 el valor de correlación totalmente negativa y +1 el de correlación totalmente positiva.

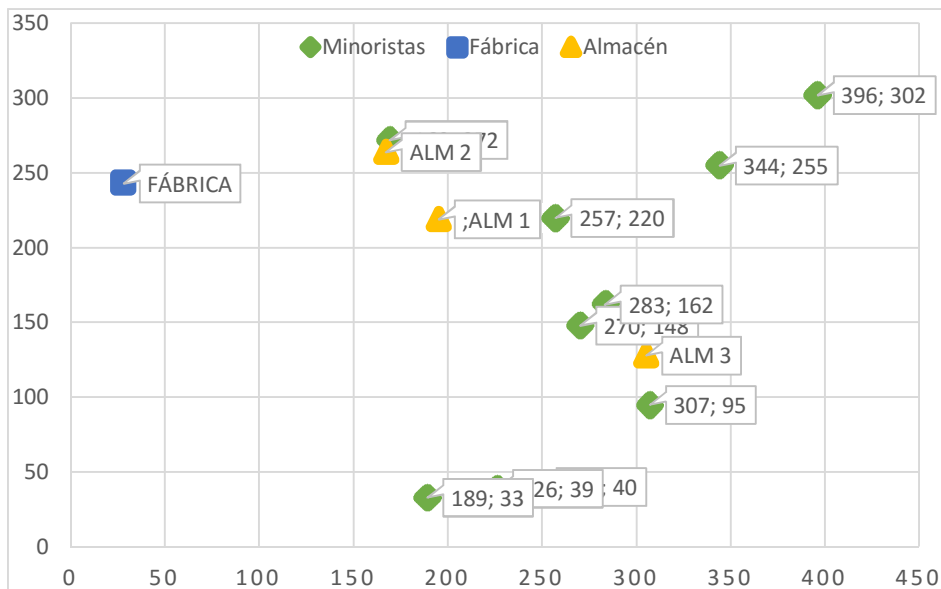
### 3.1.4. MODELO ESTUDIADO

Se simulará un escenario en el que todo el inventario se mantiene en un solo almacén, un segundo escenario en el que el inventario se reparte en dos almacenes, y un tercer escenario donde se mantiene en tres.

Para los tres escenarios se mantendrán fijas las localizaciones de todas las instalaciones y los costes de transporte por kilómetro para el camión y la furgoneta. El transporte de mercancía de fábrica a almacén se realiza en camión, y el transporte de almacén a minorista en furgoneta. Se va a trabajar con los siguientes datos:

TRANSPORTE		
€/km Camión		1,25
€/km Furgoneta		3,6
LOCALIZACIÓN	X	Y
Fábrica	28	243
Almacén 1	195	219
Almacén 2	167	264
Almacén 3	305	128
Minorista A	249	40
Minorista B	257	220
Minorista C	270	148
Minorista D	226	39
Minorista E	307	95
Minorista F	169	272
Minorista G	189	33
Minorista H	396	302
Minorista I	283	162
Minorista J	344	255

Por lo que la configuración gráfica de la cadena de suministro quedará de la siguiente manera:



También se mantendrá fijo un coste unitario de almacenamiento de 0,75€/ud.día, y un nivel de servicio del 95%

Coste unitario de Almacenar (€/ud.día) =	0,75
nivel de servicio (%)=	95

En cuanto a las demandas de los minoristas, se tiene en cuenta que la simulación debe servir de ayuda para plantear escenarios futuros en los que la demanda es incierta. Por lo tanto, el valor esperado de la demanda diaria en cada minorista será un valor aleatorio, que se va a suponer estará que comprendido entre 500 y 1000 unidades, y su variabilidad correspondiente también será aleatoria entre 50 y 200 unidades. Esto se realiza con la función “ALEATORIO.ENTRE” en la hoja de cálculo Excel.

Del mismo modo que no puede asegurarse la demanda futura, tampoco podrán asegurarse los coeficientes de correlación de demanda entre los minoristas, ya que los mercados pueden evolucionar de distintas maneras. Por tanto los coeficientes se calcularán también con la función aleatoria entre los valores -1 y +1.

### 3.1.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

El cálculo del Coste Total se realiza sumando el Coste de Almacenamiento y el Coste de Transporte.

El Coste de Almacenamiento se calcula como  **$h \times \text{Stock total en un almacén} \times n$** , siendo “h” el coste unitario de almacenamiento (€/ud.día), “n” el número de almacenes, y “Stock total en un almacén” es la suma del Stock para uso corriente promedio (que la hoja de cálculo halla con el sumatorio de valores esperados de demanda en los minoristas) y el Stock de Seguridad promedio.

Para el cálculo del Stock de seguridad se tiene en cuenta que cuando se esté simulando la configuración con un solo almacén ( $n=1$ ), las variabilidades de las demandas se agregan y el stock de seguridad se hallará con la variabilidad agregada resultante y el factor z de 1,64 (que es el correspondiente a un nivel de servicio del 95%). Esto se debe al efecto del Risk Pooling (explicado detalladamente en el apartado 2.4.9. del Estado del Arte), que consiste básicamente en la reducción de la variabilidad de la demanda cuando se centraliza el inventario, lo que supone un stock de seguridad más bajo para mantener el mismo nivel de servicio. Cuando el inventario se reparta en dos o tres almacenes (Segundo y Tercer Escenario respectivamente) las variabilidades de la demanda no se agregan porque no se da el efecto del Risk Pooling.

En el Anexo 1 se puede comprobar dentro de la tabla de “Coste de Almacenamiento” la existencia de dos filas distintas para hallar la variabilidad según se trate del Primer Escenario ( $n=1$ ) o de los otros dos.

Por otro lado, para el cálculo de los costes de transporte se halla por una parte el coste de enviar mercancía de fábrica a almacén y por otro el envío de almacén a minorista. En este modelo, la mercancía sale siempre de la fábrica y va directa a los almacenes en camiones y desde los almacenes va directa a los minoristas en furgonetas.

Para obtener los costes de transporte la hoja de cálculo halla en una tabla las distancias entre las instalaciones y multiplica por la celda “€/km Camión” o “€/km Furgoneta”, según corresponda a la primera o a la segunda fase del trayecto (antes o después del almacén).

Si se desea simular el escenario de inventario centralizado, es decir, sólo un almacén, el modelo sólo tendrá en cuenta los datos de “Almacén 1”, y se deberá introducir un “1” en la siguiente celda:

n (número de almacenes) =	1
---------------------------	---

En este caso, el Almacén 1 proveerá a los diez minoristas.

Si se desea simular la existencia de dos almacenes (n=2), ambos almacenes recibirán mercancía de la fábrica, almacenarán, y proveerán a los minoristas. Cada uno de los diez minoristas recibirá la mercancía de uno de los dos almacenes, siempre el más cercano.

Los costes para el escenario de tres almacenes se calculan de la misma forma, sólo que el simulador tiene en cuenta que el tercer almacén puede estar más cercano a algún minorista que los otros dos, y entonces será el Almacén 3 el que provea la mercancía a dicho minorista.

### **Primer Escenario: n=1**

En este primer escenario se considera que todo el inventario se centraliza en el Almacén 1. Por tanto, los parámetros introducidos para Almacén 2 y Almacén 3 son ignorados por el simulador.

La demanda diaria en cada minorista, su variabilidad, y los coeficientes de correlación entre demandas de los minoristas son valores que varían de forma aleatoria entre:

-Valor Esperado demanda = ALEATORIO.ENTRE(500; 1000)

-Variabilidad de la demanda = ALEATORIO.ENTRE(50; 200)

-Coeficiente de correlación entre la demanda del minorista “i” y el minorista “j”=REDONDEAR(-1+ALEATORIO()\*(1+1);2), que proporciona un número aleatorio de dos decimales entre -1 (correlación de demandas totalmente negativa) y +1 (correlación de demandas totalmente positiva)

Para aumentar la precisión del cálculo se realizan diez simulaciones en las que varían los tres parámetros anteriormente nombrados, y para extraer conclusiones se considerarán los resultados promedio de las diez simulaciones.

SIMULACIÓN NÚMERO:	STOCK PARA USO CORRIENTE (uds)	STOCK DE SEGURIDAD (uds)	STOCK TOTAL (uds)	COSTE ALMACENAMIENTO (€/día)	COSTE TRANSPORTE (€/día)	COSTE TOTAL (€/día)
1	6963	705	7668	5751,61	5865,80	11617,42
2	7566	566	8132	6099,10	5865,80	11964,90
3	7388	595	7983	5987,97	5865,80	11853,77
4	7184	650	7834	5876,07	5865,80	11741,88
5	7266	426	7692	5769,36	5865,80	11635,16
6	7298	1154	8452	6339,54	5865,80	12205,34
7	7714	835	8549	6412,41	5865,80	12278,21
8	6917	216	7133	5349,86	5865,80	11215,67
9	8024	487	8511	6383,49	5865,80	12249,29
10	7829	240	8069	6051,81	5865,80	11917,61
<b>PROMEDIO</b>	<b>7414,90</b>	<b>587,92</b>	<b>8002,82</b>	<b>6002,12</b>	<b>5865,80</b>	<b>11867,92</b>

Como se puede observar los costes de transporte diarios no han variado en ninguna de las 10 simulaciones ya que no dependen de la demanda esperada, ni de la variabilidad de ésta ni del coeficiente de correlación de los mercados, sólo del número de almacenes (siempre 1 en este escenario) y las distancias (constantes).

La razón por la que unas simulaciones tienen un coste de almacenamiento mayor que otras es que en algunas el valor esperado de la demanda puede ser mayor (aumento en el stock de uso corriente), o bien la variabilidad (aumento en el stock de seguridad), ya que se calculan de forma aleatoria entre un valor mínimo y uno máximo.

El coste promedio del Escenario 1 es de **11.867,92€/día**

### **Segundo escenario: n=2**

En este segundo escenario se va a suponer que desde la fábrica se realizan envíos a dos almacenes y posteriormente se envía la mercancía desde estos almacenes a los diez minoristas. Cada minorista recibirá la mercancía de uno de los dos almacenes, siempre el más cercano.

Se introduce en la celda “n(número de almacenes) =” el número 2 y el simulador sólo tendrá en cuenta los datos de Almacén 1 y Almacén 2.

Ahora, el Stock para uso corriente se dividirá a partes iguales en ambos almacenes y el Stock de Seguridad se calculará con la variabilidad total en vez de la agregada, porque no se produce Risk Pooling.

Se realizan también diez simulaciones para obtener un promedio más preciso.

SIMULACIÓN NÚMERO	STOCK PARA USO CORRIENTE por almacén	STOCK DE SEGURIDAD por almacén	STOCK TOTAL por almacén	COSTE ALMACENA- MIENTO (€/día)	COSTE TRANSPORTE (€/día)	COSTE TOTAL (€/día)
<b>1</b>	4313	991	5304	7956,57	5167,50	13124,07
<b>2</b>	3675	988	4663	6996,63	5167,50	12164,13
<b>3</b>	4277	947	5224	7838,13	5167,50	13005,63
<b>4</b>	3722	1040	4762	7144,62	5167,50	12312,12
<b>5</b>	3645	1038	4683	7026,66	5167,50	12194,16
<b>6</b>	3800	911	4711	7068,51	5167,50	12236,01
<b>7</b>	3933	984	4917	7376,25	5167,50	12543,75
<b>8</b>	3840	1018	4858	7287,66	5167,50	12455,16
<b>9</b>	3821	1166	4987	7480,56	5167,50	12648,6
<b>10</b>	4057	1281	5338	8007,99	5167,50	13175,49
<b>PROMEDIO</b>	<b>3908,3</b>	<b>1036,4</b>	<b>4944,7</b>	<b>7418,358</b>	<b>5167,50</b>	<b>12585,91</b>

Como hay dos almacenes, el stock para uso corriente en todo el sistema es  $3908,3 \times 2 = 7.816,6$  unidades. No hay un cambio muy substancial respecto al stock de uso corriente en el primer escenario, ya que ésta variación sólo se debe a la aleatoriedad de los valores esperados de demanda.

En cambio, el stock de seguridad en todo el sistema es  $1036,4 \times 2 = 2.072,8$  unidades, es decir, 3,5 veces mayor que en el primer escenario. Esto se debe a que al usar dos almacenes no se obtienen los beneficios del Risk Pooling (no se reduce el stock de seguridad) porque no se agregan las variabilidades de demanda diaria.

Al aumentar el stock de seguridad, aumenta lógicamente el stock total, y por tanto el coste de almacenamiento, que ahora es de 7.418,35€/día.

Sin embargo al usar dos almacenes el coste de transporte se reduce ya que es más probable que un minorista tenga un almacén a menos distancia, lo que reduciría el coste de transporte en furgoneta (mucho más caro que el de camión de fábrica a almacenes)

El nuevo coste de transporte es 5.167,5€/día, y el coste total, **12.585,91€/día**.

### **Tercer escenario: n=3**

Por último, introduciendo n=3 en la celda del número de almacenes se considerarán los parámetros de Almacén 1, Almacén 2 y Almacén 3; es decir, la cadena de suministro en este caso está compuesta por una fábrica, tres almacenes intermedios y diez minoristas. Las diez simulaciones ofrecen los siguientes resultados:

SIMULACIÓN NÚMERO	STOCK PARA USO CORRIENTE por almacén	STOCK de SEGURIDAD por almacén	STOCK TOTAL por almacén	COSTE ALMACENAMIENTO (€/día)	COSTE TRANSPORTE (€/día)	COSTE TOTAL (€/día)
1	2472	616	3088	6950,18	3566,61	10516,79
2	2390	708	3098	6973,09	3566,61	10539,69
3	2666	622	3288	7399,75	3566,61	10966,35
4	2690	797	3487	7847,07	3566,61	11413,68
5	2879	547	3426	7710,95	3566,61	11277,56
6	2636	557	3193	7185,88	3566,61	10752,48
7	2515	780	3295	7414,70	3566,61	10981,31
8	2510	751	3261	7340,26	3566,61	10906,86
9	2271	801	3072	6914,16	3566,61	10480,77
10	2378	692	3070	6910,42	3566,61	10477,02
<b>PROMEDIO</b>	2540,7	687,1	3227,8	7264,64	3566,61	10831,25



El stock promedio de uso corriente en todo el sistema es  $2540,7 \times 3 = 7.622,1$  unidades.

El stock de seguridad total es  $687,1 \times 3 = 2.061,3$  unidades.

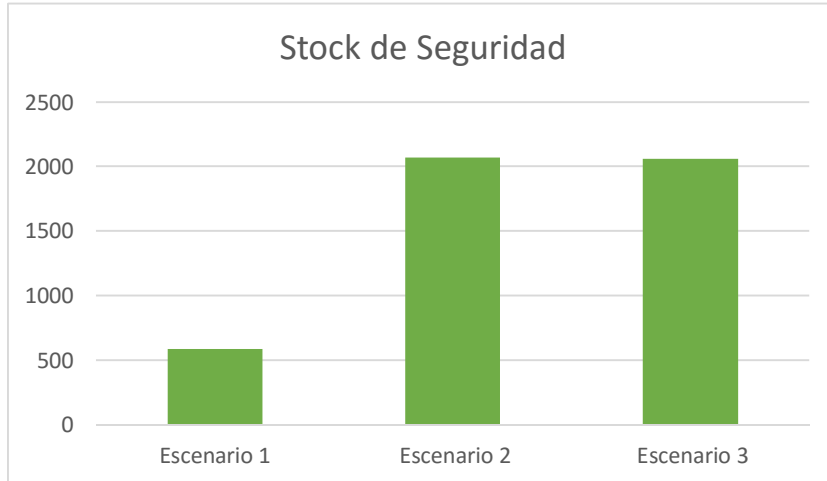
El stock total promedio es  $3227,8 \times 3 = 9.684,4$  unidades

Estos tres valores salen muy parecidos a los del segundo escenario ya que se sigue trabajando sin la variabilidad agregada, es decir, con una variabilidad mayor que implica un stock mayor.

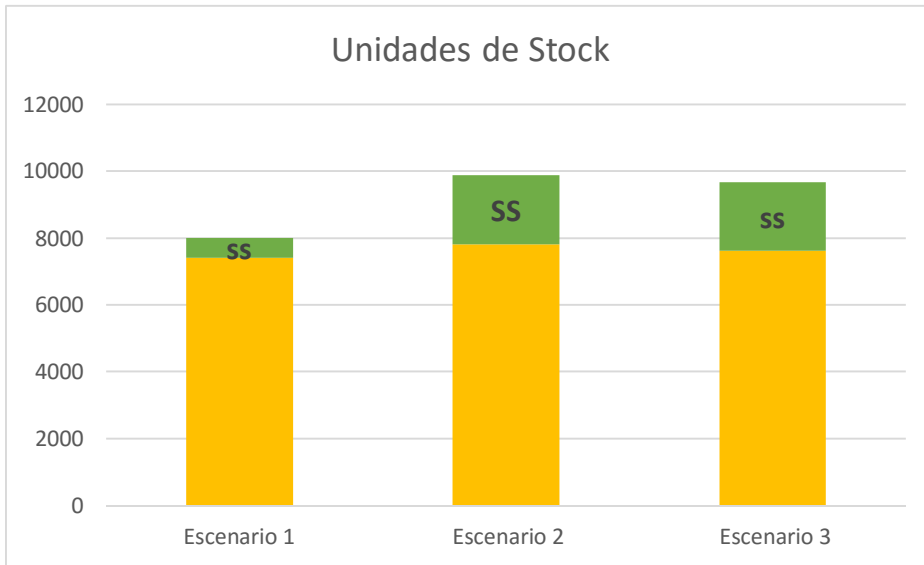
El coste de almacenamiento diario es similar al del segundo escenario, y el coste de transporte diario se reduce considerablemente por la reducción de la distancia de cada minorista a su almacén más cercano.

### 3.1.6. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

La simulación ofrece una diferencia notable en el nivel del stock de seguridad del Escenario 1 respecto al de los otros dos porque el almacenamiento centralizado reduce el stock de seguridad necesario para mantener el mismo nivel de servicio (Risk Pooling).

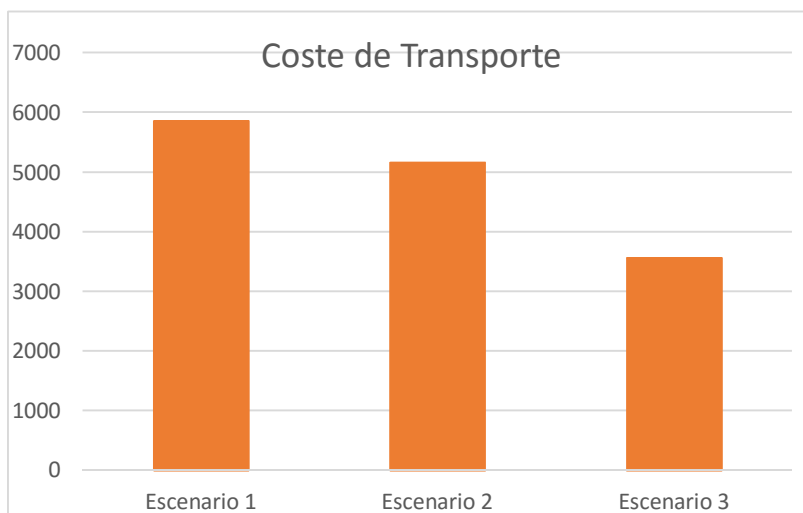


El stock para uso corriente (representado en la siguiente gráfica como la parte amarilla de las barras) apenas varía, y estas pequeñas variaciones se deben a la aleatoriedad de los valores esperados de demanda en el simulador. La cantidad de stock total en cada escenario queda así:



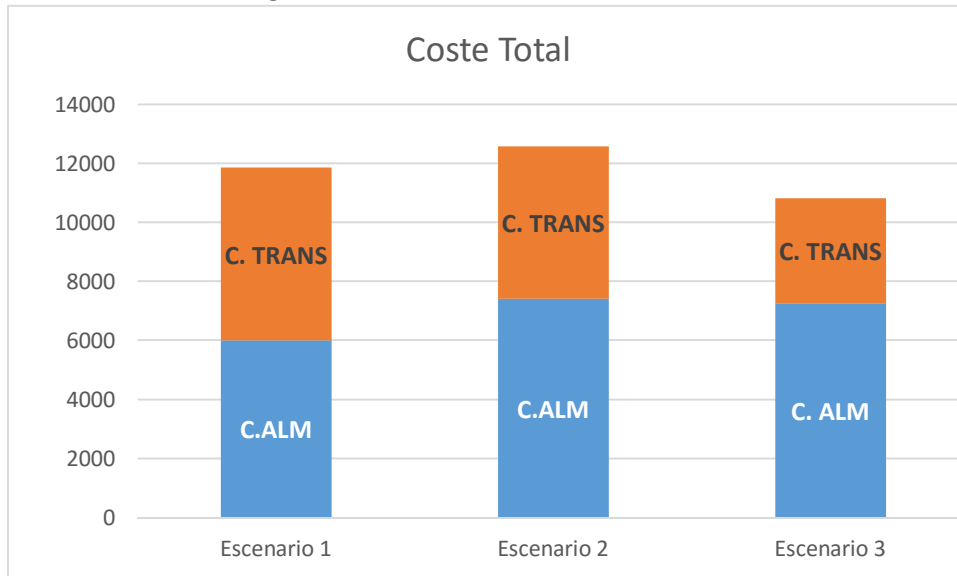
Por otra parte, la descentralización del almacenamiento proporciona una reducción en los costes de transporte, ya que la fase más cara del transporte, es decir, la realizada en furgonetas (3,60 €/km) es de menor distancia por haber más almacenes cercanos a los minoristas.

Estos son los costes de transporte en cada escenario:



Aparte del desglose de costes, lo que es de mayor utilidad para las empresas es la simulación del Coste Total de cada escenario, ya que seguramente sea el que determine a la empresa la configuración más adecuada para su almacenamiento.

Se han obtenido los siguientes datos de Coste Total:



Se observa un fenómeno interesante, y es que la reducción en costes de transporte al usar dos almacenes (Escenario 2) no llega a compensar el aumento en costes de almacenamiento respecto al uso de un almacenamiento centralizado (Escenario 1). Sin embargo, al utilizar tres almacenes (Escenario 3), la reducción en costes de transporte sí que compensa el aumento en costes de almacenamiento y se obtiene un coste total menor.

La configuración óptima por tanto es la del Escenario 3, seguida por el Escenario 1, y por último el Escenario 2.

Se debe tener en cuenta además, que en este caso el Coste Total está compuesto únicamente por el coste de transporte y el de almacenamiento, pero un almacenamiento descentralizado implica unos gastos internos mayores en los almacenes, gastos en el alquiler de las naves en caso de no estar en propiedad, economías de escala no tan aplicables que si se utilizara un solo almacén de mayor tamaño, existencia de duplicidades, y descuentos de proveedores no aplicables, con lo que teniendo en cuenta todos estos factores, la solución podría cambiar.

Debe recordarse que todos los cálculos están realizados para unos parámetros de localización dados, así como un nivel de servicio fijo (95%), un coste unitario de almacenamiento (0,75€/ud.día) y unos costes de transporte por kilómetro predeterminados (camión = 1,25€/km y furgoneta = 3,6€/km). Si las condiciones de la cadena de suministro fueran otras, el usuario sólo tendría que introducir los parámetros en las celdas correspondientes de la hoja de cálculo y se obtendría la simulación de costes para su situación.

Además, el usuario puede plantearse la opción de localizar un almacén en un determinado lugar u otro. En ese caso podría realizar dos simulaciones, primero con una localización y luego con la otra y comparar cuál de las dos opciones es más rentable.

## 3.2. CASO DE ESTUDIO 2

### Simulación del impacto económico de rediseñar una cadena de suministro con la estrategia Cross-Docking.

- 3.2.1. OBJETIVO
- 3.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO
- 3.2.3. MODELO ESTUDIADO
- 3.2.4. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA
- 3.2.5. CONCLUSIONES
- 3.2.6. EL EJEMPLO DE WAL-MART

#### 3.2.1. OBJETIVO

El propósito de este estudio es plantear un plan de negocio sobre la aplicación de la estrategia Cross-Docking en una cadena de suministro que actualmente está configurada con una estrategia de almacenamiento convencional.

#### 3.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

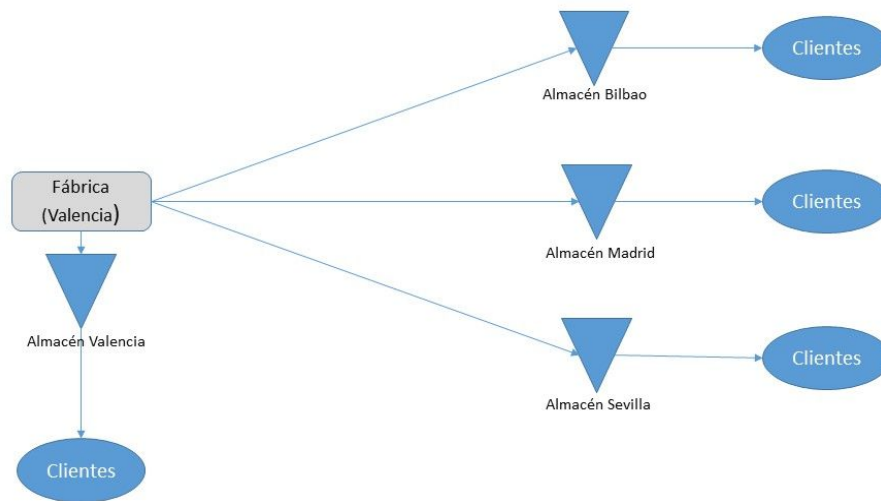
La complejidad de este problema radica en los parámetros a tener en cuenta para calcular el coste de utilizar una configuración Cross-Docking. Ésta estrategia de almacenamiento está explicada detalladamente en el capítulo 2.4.3. del Estado del Arte, página 24.

Mientras que para el cálculo de costes totales en una cadena de suministro con almacenamiento convencional sólo se tienen en cuenta los costes de almacenamiento y de transporte, para una configuración Cross-Docking entran en juego otros factores como los costes de gestión por la dificultad de coordinar el sistema y un aumento en el lead time que también debe cuantificarse económicamente. Los costes de almacenamiento serán menores debido al escaso tiempo que pasan los productos en el centro de distribución, característica fundamental del Cross-Docking.

Este caso de estudio está realizado para conocer cuánto tiempo tardaría en amortizarse el desembolso que supone el cambio de una configuración de almacenamiento convencional a una configuración Cross-Docking. Para ello, se hace necesaria la utilización de una hoja de cálculo Excel que permita calcular el coste mensual de cada configuración y el tiempo que tardaría en amortizarse la aplicación de Cross-Docking en función del desembolso que suponga realizar el cambio de estrategia.

#### 3.2.3. MODELO ESTUDIADO

Se estudia una empresa de distribución producto industrial para el sector de la construcción ubicada en Valencia que almacena en la propia planta de Valencia, Madrid, Sevilla y Bilbao y envía a los clientes.



Que la empresa lleve a cabo una estrategia de almacenamiento convencional quiere decir que dispone de varias instalaciones (en este caso cuatro) donde mantiene ciertos niveles de inventario con el fin de protegerse contra cambios inesperados en la demanda, protegerse contra variaciones en el suministro, reducir los costes de transporte, o especular con el valor del producto almacenado. (Razones para almacenar y tipos de almacenes explicados detalladamente en los capítulos 2.3.4. y 2.3.5. del Estado del Arte, páginas 14 y 15).

Actualmente la empresa dispone de datos históricos sobre las unidades que le demandan en promedio al año, el coste unitario de almacenamiento, y los costes de transporte. El transporte de los productos consta de dos fases, una primera que consiste en llevar los productos de la fábrica de Valencia a los almacenes (el almacén de Valencia está en la misma planta que la fábrica por lo que el coste de transporte fábrica-almacén es nulo) y una segunda fase en la que se distribuyen los productos a los clientes desde los almacenes. La primera fase del transporte se realiza en camiones y la segunda en furgonetas, por lo que el coste de la segunda fase es mayor.

### 3.2.4. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

Con el fin de hacer una comparación de costes de la situación actual con la que se obtendría aplicando la estrategia de distribución Cross-Docking, se emplea una hoja de cálculo Excel en la que el usuario introducirá ciertos parámetros acordes con su situación real.

Como puede observarse en el Anexo 2, la hoja de cálculo se divide en dos partes, una dedicada a los costes de distribución empleando la estrategia de almacenamiento convencional, y otra dedicada a la distribución con Cross-Docking.

### 3.2.4.1. Configuración Almacenamiento Convencional

Para calcular los costes totales con esta configuración se tendrán en cuenta dos tipos de costes, los de almacenamiento y los de transporte.

Para el cálculo de los costes de almacenamiento el usuario introduce las unidades de inventario promedio que se mantienen en cada uno de los cuatro almacenes y el coste unitario de almacenamiento (h)

COSTES DE ALMACENAMIENTO				
	uds al año	h (€/ud.mes)	h (€/ud.año)	COSTE ANUAL
VALENCIA	66181	1,78	21,36	1.413.626,16€
MADRID	34126	1,78	21,36	728.931,36€
SEVILLA	23635	1,78	21,36	504.843,60€
BILBAO	16058	1,78	21,36	342.998,88€
TOTAL	140000			2.990.400€
COSTE ALM. MENSUAL =		249.200€		

Datos de 2015

Del mismo modo se introducen los costes de transporte que se han dado el durante el último año con la configuración de almacenamiento convencional.

COSTES DE TRANSPORTE		
FÁBRICA-ALMACÉN		
	€/año	€/mes
VLC-VLC	0	0
VLC-MAD	83.145€	6.928,75€
VLC-SEV	57.839€	4.819,92€
VLC-BIL	39764€	3.313,67€
TOTAL =	180.748€	15.062,34€
ALMACÉN-CLIENTES		
	€/año	€/mes
VLC-CLIEN	460.048€	38.337,33€
MAD-CLIEN	215.874€	17.989,5€
SEV-CLIEN	124.641€	10.386,75€
BIL-CLIEN	88.760€	7396,67€
TOTAL =	889.323€	74.110,25€
COSTE DE TRANSPORTE TOTAL MENSUAL=		89.172,59€

Datos de 2015

Dentro de los costes de transporte hay que diferenciar la fase de transporte fábrica-almacenes y la fase almacenes-clientes.

Se recuerda de nuevo que los costes de transporte fábrica – almacén de Valencia son nulos porque la propia planta funciona también como almacén.

Para hallar el coste global al mes, se suma el coste mensual de almacenamiento y los costes mensuales de transporte.

**COSTE TOTAL MENSUAL MODELO DE ALMACENAMIENTO CONVENCIONAL = 338.372,59€**

### 3.2.4.2. Configuración Cross-Docking.

La estrategia de distribución Cross-Docking consiste en utilizar instalaciones intermedias donde se coordinan los envíos, en lugar de almacenes donde se mantienen altos niveles de inventario. En un centro Cross-Docking se recibe la mercancía de las fábricas en camiones, se realizan tareas de comprobación, se organizan los envíos a minoristas y se procede a su distribución, tratando de que los productos pasen el menor tiempo posible en la instalación. (Estrategia de distribución Cross-Docking explicada más detalladamente en el apartado 2.4.3. del Estado del Arte, página 24).

Para evaluar el impacto económico de utilizar una configuración Cross-Docking en el modelo estudiado se tendrán en cuenta los siguientes costes:

#### -Coste de Almacenamiento.

En una estrategia Cross-Docking pura, los productos apenas pasan tiempo dentro de las instalaciones (casi siempre menos de una jornada). Tal como entra la mercancía se somete a algunos controles, posiblemente re-etiquetado, cambios en la unidad de carga, se agrupa y se asigna a un nuevo transportista. Además, los almacenes Cross-Docking requieren de menos personal, menos gasto en electricidad y menos medios de manutención.

Este hecho implica que el coste de almacenamiento unitario "h" (€/ud.mes) sea mucho más bajo que el establecido en la configuración convencional evaluada anteriormente.

En cualquier caso este parámetro lo introducirá el usuario estimando el coste que supondrá el paso de cada unidad por el almacén, y podrá variar según se trate de la instalación de Valencia, Madrid, Sevilla o Bilbao.

COSTES DE ALMACENAMIENTO				
	uds	h(€/ud.mes)	h(€/ud.año)	COSTE ANUAL
VALENCIA	66181	0,65	7,8	516211,8
MADRID	34126	0,68	8,16	278468,16
SEVILLA	23635	0,71	8,52	201370,2
BILBAO	16058	0,69	8,28	132960,24
TOTAL	140000			1129010,4
COSTE ALM. MENSUAL =		94.084,2€		

#### -Costes de Gestión.

Los almacenes Cross-Docking tienen unos gastos de gestión mayores que los convencionales, ya que requieren un gran trabajo de coordinación entre las empresas que aprovechan esta estrategia y unos sistemas de comunicación avanzados para conseguir que los productos pasen el menor tiempo posible en la instalación.

El usuario introducirá una estimación de los costes mensuales adicionales de gestión de cada centro de distribución.

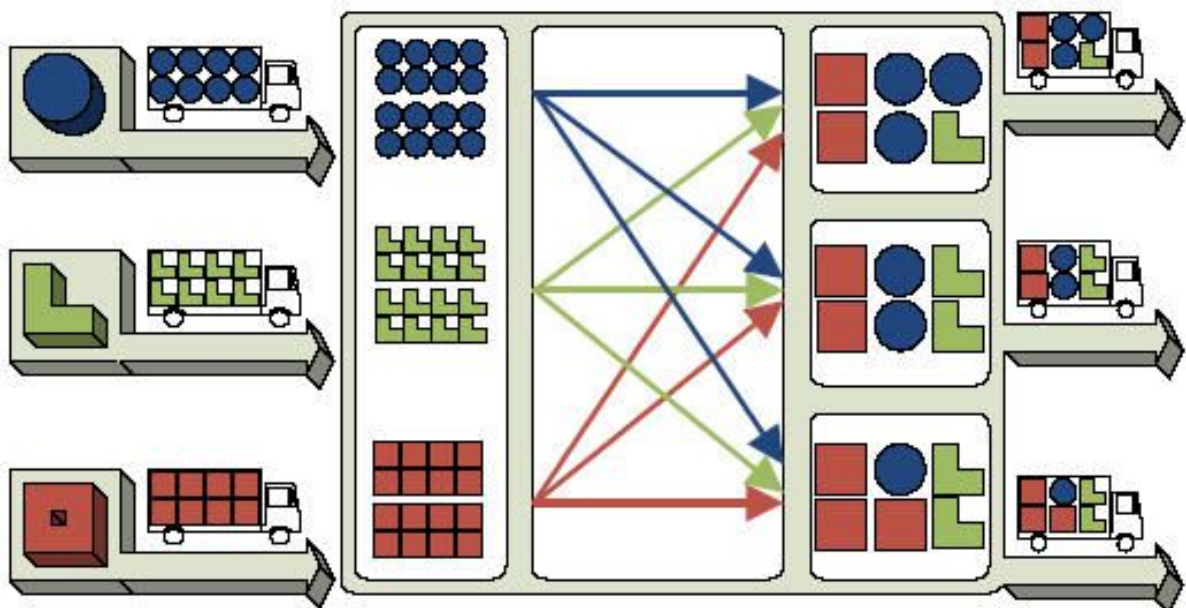
COSTES ADICIONALES DE GESTIÓN CROSS-DOCKING	
	€/mes
VALENCIA	4.294
MADRID	4.739
SEVILLA	4.962
BILBAO	5.272
<b>C.ADICIONALES MENSUALES=</b>	<b>19.267€</b>

#### -Costes de Transporte.

Como en la configuración anterior, los costes de transporte se desglosan en la fase fábrica-almacén y la fase almacén-clientes.

Se considera que los costes de fábrica a almacén se mantienen igual que en el sistema convencional, pero el transporte de almacén a clientes se abarata ligeramente. La razón por la que se abarata es la consolidación de mercancía: Agrupando productos de distintos proveedores se consigue llenar camiones o furgonetas completas para que el coste unitario del transporte almacén-minorista sea menor. [33]

La siguiente imagen muestra la consolidación de productos que se lleva a cabo en las instalaciones Cross-Docking que permiten una reducción en la segunda fase del transporte:



[Figura 4]



COSTES DE TRANSPORTE		
FÁBRICA-ALMACÉN		
	€/año	€/mes
VLC-VLC	- €	- €
VLC-MAD	83.145,00 €	6.928,75 €
VLC-SEV	57.839,00 €	4.819,92 €
VILC-BIL	39.764,00 €	3.313,67 €
TOTAL =	180.748,00 €	15.062,34 €
ALMACÉN-CLIENTES		
	€/año	€/mes
VLC-CLIEN	430.064,00 €	35838,67
MAD-CLIEN	205.739,00 €	17144,92
SEV-CLIEN	99.623,00 €	8301,92
BIL-CLIEN	83.552,00 €	6962,67
TOTAL	818.978,00 €	68.248,18 €
COSTE DE TRANSPORTE TOTAL MENSUAL =		83.310,52 €

#### -Penalización por aumento del Lead Time.

Generalmente el tiempo de entrega de la mercancía al cliente con una estrategia Cross-Docking es mayor que con un almacenamiento convencional. [34][35]

Esto es debido a que en los almacenes convencionales se tiene una gran variedad de productos y se suele tener disponibilidad para satisfacer los pedidos de los clientes en cuanto se ordenan. En cambio en los sistemas Cross-Docking no se mantiene inventario y es probable tener que esperar a que lleguen los camiones de otros proveedores para poder consolidar la mercancía y enviar el pedido al cliente.

Se produce por tanto un aumento del Lead Time cuya repercusión económica debe ser estimada. El usuario de la herramienta introducirá las horas en que aumentaría el tiempo de entrega de los pedidos desde cada centro de distribución y cuantificará en euros el coste de servir una hora más tarde cada pedido.

Es decir, debe tenerse en cuenta una penalización económica por aumentar el tiempo de entrega si se aplica la estrategia Cross-Docking:

PENALIZACIÓN POR AUMENTO DEL LEAD TIME					
	Horas de aumento del LT por unidad respecto a almacena. Convencional	Uds servidas/año	€ de coste por ud por hora de LT aumentada	coste anual	coste mensual
VLC-CLIEN	5	66181	0,3€	99.271,50€	8.272,63€
MAD-CLIEN	4	34126	0,01€	1.365,04€	113,75€
SEV-CLIEN	4,5	23635	0,09€	9.572,17€	797,68€
BIL-CLIEN	3,5	16058	0,2€	1.1240,6€	936,72€
COSTE MENSUAL TOTAL =		10.120,78€			

### -Coste total configuración Cross-Docking

Para obtener los costes totales que se tendrían con la configuración Cross-Docking se suman los costes de almacenamiento, gestión, transporte, y penalización por aumento del Lead Time:

**COSTE TOTAL MENSUAL MODELO CON CROSS-DOCKING= 206.782,50 €**

### 3.2.5. CONCLUSIONES

Para concluir el plan de negocio debe obtenerse el ahorro mensual que supondría utilizar la estrategia Cross-Docking en vez de un almacenamiento convencional.

La diferencia de costes mensuales entre ambas estrategias es:

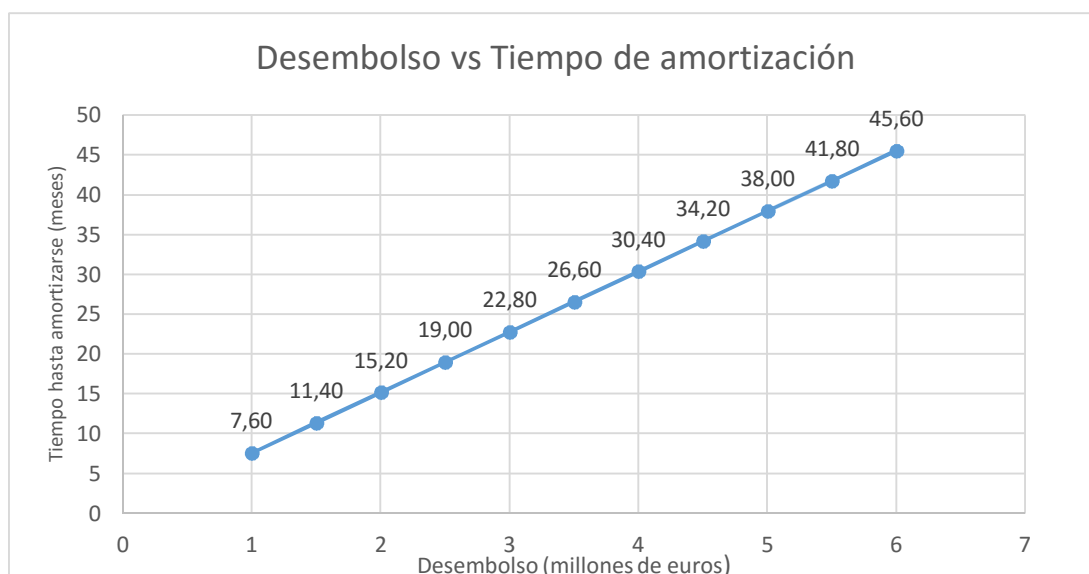
<b>DIFERENCIA COSTE MENSUAL CONF.CONVENCIONAL - CONF. CROSS-DOCKING</b>	
Coste mensual configuración almacenamiento convencional =	338.372,59 €
Coste mensual configuración Cross-Docking =	206.782,50 €
<b>Diferencia=</b>	<b>131.590,09 €</b>

Es decir, utilizar Cross-Docking implicaría gastar 131.590,09€ menos cada mes.

Sin embargo, rediseñar la cadena de suministro para aplicar la estrategia Cross-Docking supone un desembolso considerable ya que deben ser modificadas todas las instalaciones y deben mejorarse las herramientas de gestión para coordinar a proveedores y clientes.

Por lo tanto la pregunta que debe plantearse es: ¿Cuánto tiempo se tardaría en amortizar el cambio a la configuración Cross-Docking?

Mediante el administrador de escenarios de Excel se crean escenarios con distintas cantidades a desembolsar para obtener el tiempo que tardaría en amortizarse el cambio de estrategia, que es la división entre el precio de reconfigurar la cadena de suministro (€) y el ahorro mensual de aplicar Cross-Docking (€/mes) :



Si el precio a pagar por reconfigurar todas las instalaciones para adaptarlas al modelo Cross-Docking es de por ejemplo 3,5 millones de euros, la empresa tardaría 26,6 meses (dos años y tres meses) en amortizar el pago, y a partir de ese momento empezaría a obtener beneficio neto por el cambio de estrategia.

Se ha señalado que el Cross-Docking proporciona una reducción de costes globales gracias principalmente a la reducción en el coste de almacenamiento, debido al poco tiempo que pasan los productos en el centro de distribución. Además de disminuir el coste de manutención, las instalaciones Cross-Docking necesitan mucho menos espacio que los almacenes convencionales, y como los productos apenas sufren operaciones de manutención, también disminuye considerablemente el riesgo de dañar o perder productos.

Otra ventaja derivada de que apenas se almacene (o no se almacene) en el centro de distribución Cross-Docking es que no se requiere de tanto personal de mantenimiento, lo que implica más ahorro.

En cuanto al tipo de productos, los más adecuados para ser distribuidos mediante Cross-Docking, son aquellos cuya demanda cumple dos criterios: baja variabilidad y gran volumen. En este sentido el Cross-Docking es parecido a la fabricación Just-In-Time, que es más viable cuando la demanda tiene una variabilidad baja y el volumen es lo suficientemente grande como para justificar ajustes frecuentes. Cuanta más variabilidad haya en la demanda, más difícil será gestionar Cross-Docking por la dificultad de hacer coincidir los envíos con el suministro. Y si la demanda es demasiado baja, los envíos frecuentes acarrearán excesivos costes de transporte y usar almacenes convencionales podría ser más apropiado. [36]

Por lo tanto, el Cross-Docking puede no ser beneficioso en algunas situaciones, pero simular el impacto que tendría su aplicación en la cadena de suministro siempre es útil.

### **3.2.6. EL EJEMPLO DE WAL-MART**

La corporación multinacional Wal-Mart Stores Inc. (que usa Walmart como nombre comercial) es una compañía de origen estadounidense que opera cadenas de grandes almacenes de descuento. Con más de dos millones de trabajadores, ofrece la mayor oferta de empleo privado en todo el mundo.

Fundada en 1962 por Sam Walton, ha crecido hasta tener hoy casi 11.000 tiendas bajo 65 marcas en 28 países, lo que la convierte en la compañía minorista más grande del mundo y una de las que más cotiza en la Bolsa de Nueva York. [37]

Wal-Mart es el mejor ejemplo de cómo la optimización de operaciones logísticas puede dar a una empresa la ventaja competitiva necesaria para destacar por encima de la competencia. Una de las claves del éxito para que Wal-Mart haya logrado la eficiencia logística es el uso de la estrategia Cross-Docking. La compañía norteamericana es considerada una de las pioneras y la

responsable de popularizar esta estrategia de distribución.

Adoptó el método Cross-Docking cuando su número de tiendas empezó a crecer rápidamente, y se vio en la necesidad de asegurarse de que su mercancía se enviaba de forma eficiente desde sus centros de distribución a todas sus tiendas. La aplicación del Cross-Docking ha sido fundamental para lograr la agilidad de la cadena de suministro de Wal-Mart, ya que pone el producto a disposición del cliente de forma rápida y barata. Además, ha permitido una disminución en los costes de almacenamiento y una gestión de inventarios mejorada.

Hoy en día, Wal-Mart envía el 85% de sus productos usando el método Cross-Docking. [38] La clave del éxito en la utilización del Cross-Docking es la eficiencia de su sistema de comunicación. Wal-Mart utiliza un sistema de comunicación por satélite para monitorizar las transacciones de cada una de sus tiendas, lo que demuestra que la comunicación efectiva entre cada miembro de la cadena de suministro es un factor determinante para el correcto funcionamiento de la estrategia Cross-Docking y lograr la coordinación de todos los participantes en el proceso de distribución.

### **3.3. CASO DE ESTUDIO 3**

#### **Estrategias para mejorar el nivel de servicio**

##### **3.3.1. OBJETIVO**

##### **3.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

##### **3.3.2. MODELO ESTUDIADO**

##### **3.3.3. MÉTODOS DE MEJORA DEL NIVEL DE SERVICIO**

##### **3.3.4. SIMULACIÓN**

#### **3.3.1. OBJETIVO**

El siguiente caso de estudio tiene el objetivo de proponer y explicar distintas opciones para aumentar el nivel de servicio de una empresa de distribución de producto industrial para la construcción mejorando la gestión de su inventario.

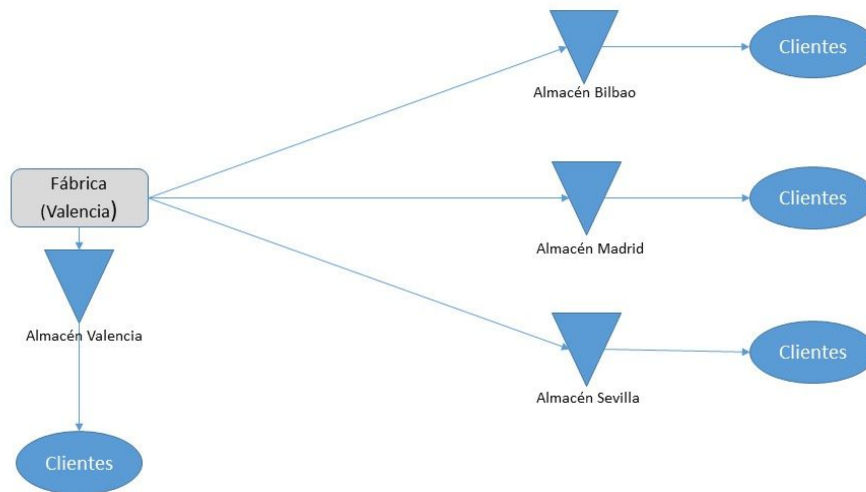
#### **3.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

Se plantea una empresa que desea mejorar su nivel de servicio del año 2015 y conoce los datos de demanda, variabilidad y coste unitario de almacenamiento. Se propondrán dos estrategias para conseguirlo. La primera de ellas consistirá en aumentar el nivel de stock de seguridad, para lo cual se requerirá simular mediante el administrador de escenarios de Excel la mejora en el nivel de servicio que supondría desembolsar una cierta cantidad de dinero en costes extra de almacenamiento. La segunda propuesta consistirá en la centralización del inventario en un solo almacén, para poder aplicar los beneficios del Risk Pooling (explicado detalladamente en el apartado 2.3.9 del Estado del Arte, página 18) y aumentar el nivel de servicio manteniendo el nivel de stock de seguridad.

Se pretende demostrar que la centralización de inventarios puede proporcionar un nivel de servicio mayor.

#### **3.3.3. MODELO ESTUDIADO**

Se considera una empresa ubicada en Valencia de distribución de producto industrial que actualmente dispone de tres almacenes reguladores en Madrid, Sevilla y Bilbao, y la propia planta de Valencia que también trabaja como almacén.



El producto se fabrica en la planta de Valencia. Una parte de la producción se mantiene almacenada en Valencia para satisfacer la demanda de clientes locales, mientras que la producción restante se distribuye a Bilbao, Madrid y Sevilla para abastecer esas zonas.

La empresa tuvo durante el año 2015 un **nivel de servicio del 75%** que desea mejorar.

Los cálculos de previsión de demanda ofrecieron unos resultados con una variabilidad del 15% de los valores esperados de demanda en cada almacén:

Almacén	Demanda anual esperada	Porcentaje variable
Madrid	34.126	15%
Sevilla	23.635	15%
Bilbao	16.058	15%
Valencia	66.181	15%

Datos de 2015.

El coste de almacenamiento por unidad/mes de cada producto es de  **$h = 1,78\text{€}/\text{ud.mes}$**  independientemente de donde se almacene.

Que el nivel de servicio fuera del 75% significa que un 25% de todos los pedidos que recibió la empresa no pudieron servirse (por lo menos en el plazo adecuado), es decir, en un 25% de los pedidos la empresa entró en situación de rotura de stock.

A continuación se explican dos opciones para aumentar el nivel de servicio del caso estudiado y conseguir que la empresa disminuya las ocasiones en las que entra en rotura de stock.

### 3.3.4. MÉTODOS DE MEJORA DEL NIVEL DE SERVICIO

Las propuestas que van a simularse para mejorar el nivel de servicio de la empresa son:

1. Aumentar el Stock de Seguridad
2. Centralizar el inventario manteniendo el mismo nivel de Stock de Seguridad.

Para empezar, debe conocerse el stock de seguridad que se utilizó el año 2015 que proporcionó un nivel de servicio del 75%.

Las variabilidades de las previsiones de demanda en cada almacén fueron las siguientes:

Almacén	Demanda anual esperada	Porcentaje variable	Variabilidad
Madrid	34.126	15%	5118,9
Sevilla	23.635	15%	3545,25
Bilbao	16.058	15%	2408,7
Valencia	66.181	15%	9927,15
<b>TOTAL</b>	<b>140.000</b>		<b>21.000</b>

Los factores “z” correspondientes a cada nivel de servicio son los siguientes:

Nivel de servicio (%)	Factor Z	Nivel de servicio (%)	Factor Z
50	0	90	1,28
55	0,13	91	1,34
60	0,25	92	1,41
65	0,39	93	1,48
70	0,52	94	1,55
<b>75</b>	<b>0,67</b>	95	1,64
80	0,84	96	1,75
81	0,88	97	1,88
82	0,92	98	2,05
83	0,95	99	2,33
84	0,99	99,5	2,58
85	1,04	99,6	2,65
86	1,08	99,7	2,75
87	1,13	99,8	2,88
88	1,17	99,9	3,09
89	1,23	99,99	3,72

El factor Z para un nivel de servicio del 75% es 0,67.

Como el stock de seguridad en sistemas descentralizados se calcula como:

$$SS = Z \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

Se obtiene que el stock de seguridad promedio utilizado en 2015 fue de **14.070 unidades**.

### **Propuesta 1: Aumentar el stock de seguridad para mejorar el nivel de servicio.**

La empresa puede estar en disposición de gastar una cierta cantidad por mejorar el nivel de servicio. Supóngase que esta cantidad es 100.000€ anuales y se dispone de espacio suficiente en los almacenes para aumentar el stock de seguridad. ¿Cuántas unidades más podrían almacenarse?

Como  $h = 1,78\text{€/ud.mes}$ , o lo que es lo mismo,  $h = 21,36\text{€/ud.año}$ , se tiene que las unidades extra que podrían almacenarse al año gastando 100.000€ son  $100.000/21,36 = 4.681,64$  uds.

Estas unidades extra sumadas al stock de seguridad del que ya se disponía dan un total de 18.751,61 uds.

¿Qué nivel de servicio se obtendría con este nuevo stock de seguridad?

$$SS = Z \sum_{i=1}^n \sigma_i$$

De donde se obtiene que  $Z = 0,8929$ , que proporciona un nivel de servicio del **80,5%**

La aplicación de esta propuesta aumentaría el nivel de servicio en más de un 5% a cambio de un desembolso de 100.000€ anuales.

### **Propuesta 2: Centralizar el inventario manteniendo el mismo nivel de stock de seguridad.**

Centralizando el inventario se agregan las variabilidades de demanda (se trabaja con una variabilidad agregada menor) y se consiguen los beneficios del Risk Pooling (explicado detalladamente en el apartado 2.3.9 del Estado del Arte, página 18). Estos son, o bien la reducción del stock de seguridad en el sistema para un mismo nivel de servicio, o bien el aumento del nivel de servicio para un mismo stock de seguridad. Esto último es lo que se pretende conseguir con esta propuesta.

Para ello es necesario centralizar el inventario en un solo almacén y distribuir desde ahí a todos los clientes.

Para calcular la variabilidad agregada se necesitan los coeficientes de correlación entre las demandas, que serán los siguientes para los clientes de la zona de Madrid, Sevilla, Bilbao y Valencia. La hoja de cálculo obtiene de forma aleatoria los siguientes valores entre -1 y +1 empleando la función "ALEATORIO.ENTRE":



	Madrid	Sevilla	Bilbao	Valencia
Madrid				
Sevilla	-0,12			
Bilbao	0,45	0,35		
Valencia	-0,43	0,12	-0,62	

Con las desviaciones de las previsiones de demanda y los coeficientes de correlación se obtiene la variabilidad agregada:

$$\sigma_a = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{i < j}^n \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}^{109}$$

[Fórmula 1]

Variabilidad agregada	9.536,02
-----------------------	----------

Con esta nueva variabilidad agregada y manteniendo el mismo stock de seguridad, se obtiene el siguiente factor Z:

$$SS_c = Z \sigma_a$$

$$Z = 14070 / 9536,02 = 1,47$$

Que garantizaría un **nivel de servicio del 92,9%**, es decir, aumentaría un 17,9% el nivel de servicio sin aumentar el nivel de stock.

Los costes de esta propuesta son los derivados de reorganizar el inventario en un solo almacén y además, debe tenerse en cuenta un probable aumento de los costes de transporte por mantener el inventario más lejos de los clientes.

### 3.3.5. SIMULACIÓN

#### Simulación de la Propuesta 1.

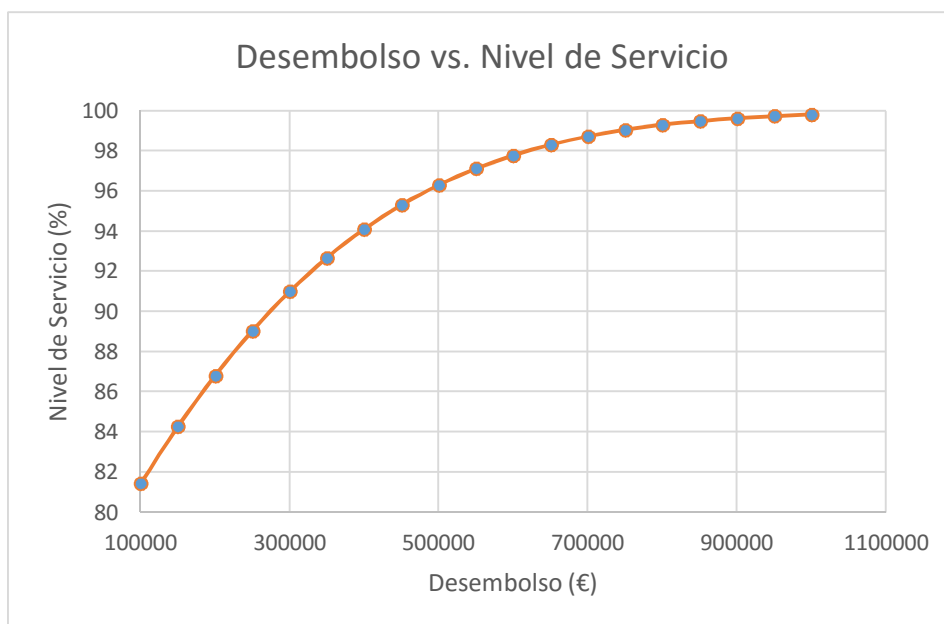
Con la hoja de cálculo Excel es posible simular distintos escenarios para analizar la mejora del nivel de servicio que supondría un determinado desembolso económico. Para ello, se utiliza el Administrador de Escenarios disponible en la pestaña de "Análisis de hipótesis" de Excel.

Siguiendo el ejemplo anterior se puede simular el aumento en el nivel de servicio que se obtendría si la empresa estuviera dispuesta a gastar una determinada cantidad de dinero para aumentar su stock de seguridad (Propuesta 1) manteniendo la configuración actual (almacenes en Valencia, Madrid, Sevilla y Bilbao).

Nivel de servicio anterior (%):	75
Coste unitario de almacenamiento h (€/ud.año) =	21,3
SS anterior =	14.070
Cantidad anual que la empresa está dispuesta a pagar en costes extra de almacenamiento=	<b>100.000€</b>
Unidades extra de SS que pueden almacenarse =	4.694,84
Nuevo SS=	18.764,84
Nuevo Factor Z =	0,8935636
Nuevo Z corresponde a un Niv.de Servicio del (%) =	<b>81,4222286</b>

El nivel de servicio se obtiene a partir de su factor Z mediante la función de la distribución normal estándar de Excel (DISTR.NORM.ESTAND.N).

La gráfica que se ofrece a continuación muestra el nuevo nivel de servicio para un gasto extraordinario comprendido entre 100.000€/año y 1.000.000€/año:



<b>RESULTADO</b>	
Desembolsar la cantidad de (€/año):	100.000€
Proporciona una mejora en el nivel de servicio del (%):	6,42

Como se puede observar, si la empresa desembolsara una cantidad de hasta 500.000 euros cada año su nivel de servicio mejoraría sustancialmente en proporción al coste, pero a partir de un nivel de servicio del 96% (aproximadamente) la curva tiene un crecimiento más

paulatino, por lo que serán necesarias inversiones grandes para conseguir pequeños aumentos en el nivel de servicio.

En conclusión, sólo si la empresa tiene un interés altísimo en mejorar su nivel de servicio al máximo convendría invertir más de 500.000€.

Los cálculos están realizados para los parámetros anteriormente expuestos, pero el usuario podría alterarlos para adecuarlos a su situación y obtener su simulación de costes y mejora del nivel de servicio correspondiente.

### Simulación de la Propuesta 2.

La segunda propuesta consistía en centralizar el inventario para obtener los beneficios del Risk Pooling y mejorar el nivel de servicio manteniendo el mismo stock de seguridad.

Supongamos que se mantiene el coste de almacenamiento unitario (21,3€/ud.año), el stock de seguridad anterior (14.070 uds), y las variabilidades de las previsiones de demanda (15% del valor esperado).

Los coeficientes de correlación variarán aleatoriamente entre -1 y +1, y se obtendrán distintos valores del nivel de servicio.

Almacén	Demanda esperada	Porcentaje variable	Variabilidad
Madrid	34.126	15%	5118,9
Sevilla	23.635	15%	3545,25
Bilbao	16.058	15%	2408,7
Valencia	66.181	15%	9927,15
<b>TOTAL</b>	140.000		21000

$$SS = 14070$$

Como el inventario está centralizado, se trabaja con la variabilidad agregada:

$$\sigma_a = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{i < j}^n \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}^{109}$$

[Fórmula 1]

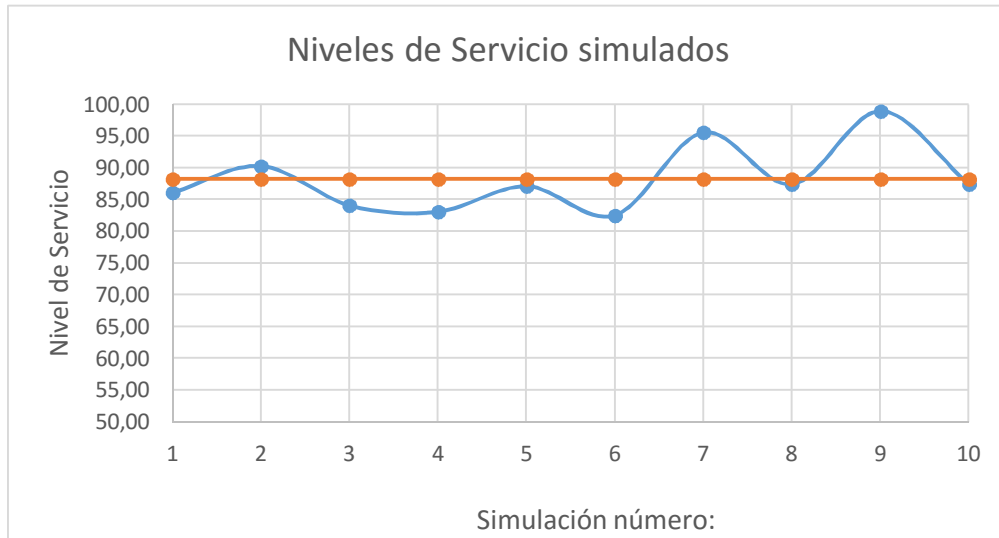
Se han simulado diez escenarios mediante la función de Excel “Análisis de hipótesis” con distintos coeficientes de correlación de demandas generados aleatoriamente, lo que proporciona diez escenarios con distintos valores para la variabilidad agregada, y por tanto diez valores para el factor “z” del nivel de servicio que se hallarán así:

$$SS_c = Z \sigma_a$$

Siendo el stock de seguridad 14.070 unidades, porque la propuesta sugiere mantener el mismo stock de seguridad en el sistema que había con el inventario descentralizado en cuatro almacenes.

De nuevo con la función de la distribución normal se obtiene un valor del nivel de servicio para cada valor del factor “z”.

Los niveles de servicio obtenidos están representados por la línea azul de la siguiente gráfica:



La media de todas las simulaciones (línea roja) es de un **nivel de servicio del 88,25%**. Este nivel de Servicio es el que cabría esperar al seguir la Propuesta 2: Centralizar el inventario sin modificar el nivel de stock de seguridad; aunque como se observa en la gráfica su valor dependerá de las correlaciones de demanda que se den.

Para evaluar si es mejor la Propuesta 1 o la Propuesta 2 habría que tener en cuenta muchos otros factores, como por ejemplo un probable aumento de los costes de transporte al centralizar el inventario.

El nivel de servicio del 88,25% que se obtiene de media aplicando la Propuesta 2 (un 13,25% superior que con la configuración inicial), se podría obtener también con la Propuesta 1.

Con el simulador de la Propuesta 1 se obtiene que el desembolso que la empresa debería tener para aumentar su SS lo suficiente para alcanzar un nivel de servicio del 88,25% es de **231.520€** anuales.

### 3.4. CASO DE ESTUDIO 4

#### **Simulación de costes de transporte con la estrategia de “Direct Shipping” y las técnicas de Full truck-load y Less than truck-load.**

- 3.4.1. OBJETIVO
- 3.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO
- 3.4.3. MODELO ESTUDIADO
- 3.4.4. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA
- 3.4.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS
- 3.4.6. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

##### **3.4.1. OBJETIVO**

Con este caso de estudio se pretende analizar el coste de transporte que supone hacer envíos directos de fábrica a minoristas con las técnicas de Full truck-load (FTL) y Less than truck-load (LTL). Ambas estrategias están explicadas en el capítulo 2.4.2. del Estado del Arte (página 22).

Se realiza una comparación entre ambas técnicas con el objetivo de comprender en qué casos es conveniente utilizar una y otra y qué repercusión económica tiene esta decisión.

##### **3.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

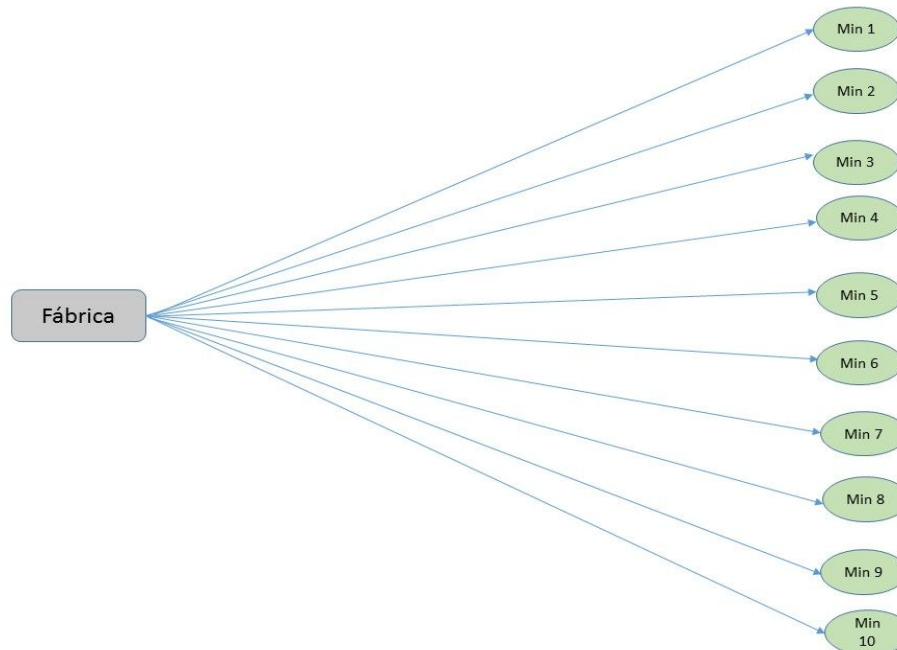
Se estudia la cadena de suministro de una empresa que subcontrata el envío de sus productos desde la fábrica directamente a los minoristas. Se utiliza una hoja de cálculo en la que el usuario introducirá los parámetros de localización de cada instalación, costes de transporte por kilómetro, capacidad de carga del camión, y la estrategia FTL o LTL que desea que se aplique en los envíos a cada minorista. Se calcularán los costes que supone el empleo de cada estrategia y se analizarán los resultados.

Se supondrá que si la demanda es suficientemente grande como para llenar un camión se llenará, y con la mercancía insuficiente para llenar otro (o el primer) camión se podrá decidir entre emplear la técnica FTL o LTL.

Este caso de estudio pretende hacer hincapié en las técnicas de aprovechamiento del espacio del camión para reducir el coste de transporte unitario.

### 3.4.3. MODELO ESTUDIADO

El modelo consiste en una cadena de suministro compuesta por una fábrica y diez minoristas sin almacenes intermedios:



El transporte es directo de la fábrica los minoristas, es decir, se utiliza la estrategia de “Direct Shipping” que como se explicó más detalladamente en el apartado 2.4.1. del Estado del Arte (página 22), consiste en el envío de mercancía al cliente sin pasar por almacenes intermedios, lo que puede reducir considerablemente el coste total de distribución.

Para la distribución de la mercancía se considera que la empresa estudiada contratará una empresa de transporte externa que realizará los envíos. Estos envíos podrán realizarse a camión parcial o totalmente lleno. En el siguiente capítulo se explica el criterio de ocupación de carga del camión.

### 3.4.4. FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

Se utiliza una hoja de cálculo Excel en la que se introducen las coordenadas de localización de la fábrica y de los diez minoristas, y también la demanda diaria de euro-pallets de cada minorista. En este caso se van a suponer los siguientes valores:

Localizaciones			Demanda diaria en pallets
x	y		
Fábrica	500	500	
Minorista 1	30	639	14
Minorista 2	200	43	37
Minorista 3	893	742	24
Minorista 4	351	789	79
Minorista 5	28	842	106
Minorista 6	253	34	28
Minorista 7	598	345	31
Minorista 8	28	912	85
Minorista 9	472	854	49
Minorista 10	632	298	19

El usuario debe introducir también la capacidad de carga de un camión y el precio por kilómetro de traslado del camión independientemente de su carga.

Se va a suponer la capacidad estándar, 33 euro-pallets por camión, y un coste de traslado del camión de 0,95€/km

Capacidad de carga de un camión (europallets)	33
Precio del transporte del camión por km (€/km)	0,95

La hoja de cálculo obtiene las distancias de fábrica a cada minorista, es decir, los kilómetros del trayecto a recorrer por los camiones:

Distancias fábrica-minorista (km)	
FÁB-MIN 1	490,12
FÁB-MIN 2	546,67
FÁB-MIN 3	461,53
FÁB-MIN 4	325,15
FÁB-MIN 5	582,88
FÁB-MIN 6	527,41
FÁB-MIN 7	183,38
FÁB-MIN 8	626,52
FÁB-MIN 9	355,11
FÁB-MIN 10	241,30

Para saber cuántos camiones va a ser necesario enviar a cada minorista se divide la demanda entre la capacidad del camión, 33 euro-pallets.

De esta manera se obtiene el número de camiones que pueden llenarse con la demanda del minorista y el porcentaje de ocupación del camión que no llega a llenarse.

La columna de "Pallets en el camión incompleto" son todos los euro-pallets que no han sido suficientes para llenar un camión.

Número de camiones necesarios				
	Dem/Cap	Camiones completos	Camión incompleto ocupado al (% sobre 1)	Pallets en el camión incompleto
Minorista 1	0,42	0	0,42	14
Minorista 2	1,12	1	0,12	4
Minorista 3	0,73	0	0,73	24
Minorista 4	2,39	2	0,39	13
Minorista 5	3,21	3	0,21	7
Minorista 6	0,85	0	0,85	28
Minorista 7	0,94	0	0,94	31
Minorista 8	2,58	2	0,58	19
Minorista 9	1,48	1	0,48	16
Minorista 10	0,58	0	0,58	19

Una vez se conoce el número de camiones necesarios para satisfacer la demanda de los minoristas, el simulador calcula el coste de transporte de los camiones que van a ir completos. El coste diario se calculará como el precio de traslado del camión (€/km) por la distancia que recorre por el número de camiones completos necesarios para satisfacer la demanda diaria:

CAMIONES COMPLETOS		
	Coste total de los camiones completos (€)	Pallets enviados a camión completo
Minorista 1	-	0
Minorista 2	519,34€	33
Minorista 3	-	0
Minorista 4	617,78€	66
Minorista 5	1661,21€	99
Minorista 6	-	0
Minorista 7	-	0
Minorista 8	1.190,39€	66
Minorista 9	337,35€	33
Minorista 10	-	0

Para el camión incompleto en el que van los pallets que no han cabido se puede elegir seguir la estrategia de Full truck-load (FTL) o Less than truck-load (LTL). Ambas estrategias están explicadas detalladamente en el capítulo 2.4.2. del Estado del Arte (página 22).

Siguiendo la estrategia LTL se consolidan productos de distintas empresas en un mismo camión con el objetivo de llenarlo y que el coste unitario salga menor. Es decir, si la empresa estudiada elige que su producto se distribuya mediante la estrategia LTL, su producto compartirá espacio en el camión con los productos de otras empresas que también han elegido realizar envíos a LTL, y la empresa transportista cobrará los envíos en función del espacio que ocupa en el camión la mercancía de cada uno de sus clientes (entre ellos, la empresa que estamos estudiando) y la distancia que recorren sus productos (los productos de la empresa que estamos estudiando recorrerán una parte del trayecto total que realiza el camión, que tendrá



que hacer paradas intermedias, y puede haber iniciado su trayecto mucho antes de pasar por nuestra fábrica y finalizarlo mucho después de enviar a nuestro minorista).

Si se opta por una estrategia FTL la empresa transportista dedicará todo el espacio del camión a los productos de un único cliente, con lo que llegará antes al punto de destino (se evitan paradas para carga y descarga de mercancía de otros clientes, y los desvíos del trayecto para llegar a ellos) aunque el coste unitario de transporte será mayor si el camión no se ocupa al 100%. Es decir, si la empresa estudiada decide enviar su mercancía a FTL los envíos serán más rápidos, pero más caros.

En el simulador, el usuario elegirá la estrategia que quiere adoptar para los camiones que quedan incompletos, ya que cada producto puede tener unos requerimientos determinados. Por ejemplo, si el producto que se le envía al Minorista 4 es de gran fragilidad y la empresa prefiere que no se mezcle en el camión con producto ajeno, puede decidir contratar el transporte con estrategia FTL y enviar el camión únicamente con su producto sacrificando el coste unitario a cambio de conservar su calidad.

CAMIÓN INCOMPLETO		
	Estrategia elegida	Coste camión incompleto
Minorista 1	LTL	197,53€
Minorista 2	LTL	62,95€
Minorista 3	LTL	318,88€
Minorista 4	FTL	308,89€
Minorista 5	LTL	117,46€
Minorista 6	LTL	425,13€
Minorista 7	FTL	174,21€
Minorista 8	FTL	595,19€
Minorista 9	LTL	163,56€
Minorista 10	FTL	229,24€

El coste del camión incompleto se calcula en función de la estrategia elegida: si se desea operar a LTL, el precio del transporte será el precio por kilómetro recorrido de camión (0,95€/km) por los kilómetros existentes desde la fábrica hasta el minorista correspondiente (la empresa paga sólo por lo que recorren sus productos, no se hace cargo de los kilómetros que recorre el camión para recoger o entregar mercancía ajena), por el porcentaje de ocupación de su mercancía en el camión. Se multiplica por el porcentaje de ocupación porque como se ha explicado, cada cliente de la empresa de transporte paga únicamente por lo que ocupa en el camión, es decir, si la empresa estudiada decide contratar al transportista el envío de un producto que ocupa el 20% del camión, la empresa pagará el 20% y el otro 80% del coste del transporte será sufragado por las otras empresas que también ocupan el camión.

Si por el contrario se elige operar a FTL, el coste del camión incompleto no se multiplica por el porcentaje de ocupación ya que todos los costes los sufraga la empresa estudiada.

Por último, la hoja de cálculo obtiene el coste por pallet para cada minorista de la siguiente manera:

$$\text{Coste por pallet} = \frac{(\text{Coste de los camiones completos}) + (\text{Coste camión incompleto})}{(33 * \text{núm. de camiones completos}) + (\text{pallets en camión incompleto})}$$

Por ejemplo al Minorista 2 se le envía un camión completo por 519,34€, y un camión incompleto por 62,95€ (si se hubiese decidido operar a FTL en vez de LTL el precio de este camión incompleto sería mayor); y se ha enviado un total de 37 pallets (33 llenando un camión y 4 en el otro). El coste unitario por pallet es 15,74€:

$$\text{Coste por pallet a Minorista 2} = \frac{(519,34 + 62,95)}{(33 * 1 + 4)} = \frac{15,74€}{\text{pallet}}$$

	COSTE POR PALLET
Minorista 1	14,11€
Minorista 2	15,74€
Minorista 3	13,29€
Minorista 4	11,73€
Minorista 5	16,78€
Minorista 6	15,18€
Minorista 7	5,62€
Minorista 8	21,01€
Minorista 9	10,22€
Minorista 10	12,07€

El coste total con la estrategia elegida es:

COSTE PROMEDIO POR PALLET	14,66€
COSTE TOTAL	6.919,12€

### 3.4.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

En las siguientes simulaciones se mantienen constantes respecto al ejemplo anterior la localización de las instalaciones, la demanda diaria en pallets, la capacidad de carga de los camiones (33 pallets) y el precio del transporte por kilómetro (0,95€/km).

#### - Full truck-load en todos los envíos.

A continuación se plantea un escenario en el que la empresa elige siempre operar a Full truck-load (FTL), es decir, tanto si tiene pallets suficientes para llenar un camión como si no, no compartirá el espacio disponible del camión con productos de otros clientes.

CAMIÓN INCOMPLETO	
	Estrategia elegida
Minorista 1	FTL
Minorista 2	FTL
Minorista 3	FTL
Minorista 4	FTL
Minorista 5	FTL
Minorista 6	FTL
Minorista 7	FTL
Minorista 8	FTL
Minorista 9	FTL
Minorista 10	FTL

El coste obtenido por pallet en este escenario es:

	COSTE POR PALLET
Minorista 1	33,26€
Minorista 2	28,07€
Minorista 3	18,27€
Minorista 4	11,73€
Minorista 5	20,90€
Minorista 6	17,89€
Minorista 7	5,62€
Minorista 8	21,01€
Minorista 9	13,77€
Minorista 10	12,07€

COSTE PROMEDIO POR PALLET	17,90€
COSTE TOTAL	8.449,14€

Se observa que ha aumentado el coste promedio de enviar un pallet y por ende el coste total.

#### - Less than truck-load en los envíos a camión incompleto

El siguiente escenario evalúa el coste que supondría seguir la estrategia LTL en todos los envíos en los que no se tiene mercancía suficiente para llenar un camión. Es decir, los minoristas que tengan una demanda mayor de 33 pallets (capacidad del camión) recibirán un camión completo de 33 pallets de la empresa y los demás pallets se transportarán en otro camión junto con mercancía de otras empresas hasta llenarlo, con el objetivo de reducir el coste unitario del transporte.

CAMIÓN INCOMPLETO	
	Estrategia elegida
Minorista 1	LTL
Minorista 2	LTL
Minorista 3	LTL
Minorista 4	LTL
Minorista 5	LTL
Minorista 6	LTL
Minorista 7	LTL
Minorista 8	LTL
Minorista 9	LTL
Minorista 10	LTL

Los costes unitarios de los envíos quedan así:

	COSTE POR PALLET
Minorista 1	14,11€
Minorista 2	15,74€
Minorista 3	13,29€
Minorista 4	9,36€
Minorista 5	16,78€
Minorista 6	15,18€
Minorista 7	5,28€
Minorista 8	18,04€
Minorista 9	10,22€
Minorista 10	6,95€

Y los costes totales se reducen considerablemente:

COSTE PROMEDIO POR PALLET	13,50€
COSTE TOTAL	6.371,59€

#### - Escenario de estrategias combinadas.

De entre todos los productos que distribuye la empresa, puede haber algunos que sean frágiles o que su calidad pueda verse alterada al estar en contacto con otros productos. Supongamos que estos productos son los que demandan los minoristas 2, 4, 7 y 8.

La empresa decidiría operar a FTL con esos productos y seguir haciendo envíos a LTL con los demás:

CAMIÓN INCOMPLETO	
	Estrategia elegida
Minorista 1	LTL
Minorista 2	FTL
Minorista 3	LTL
Minorista 4	FTL
Minorista 5	LTL
Minorista 6	LTL
Minorista 7	FTL
Minorista 8	FTL
Minorista 9	LTL
Minorista 10	LTL

En este escenario se obtendrían los siguientes costes unitarios:

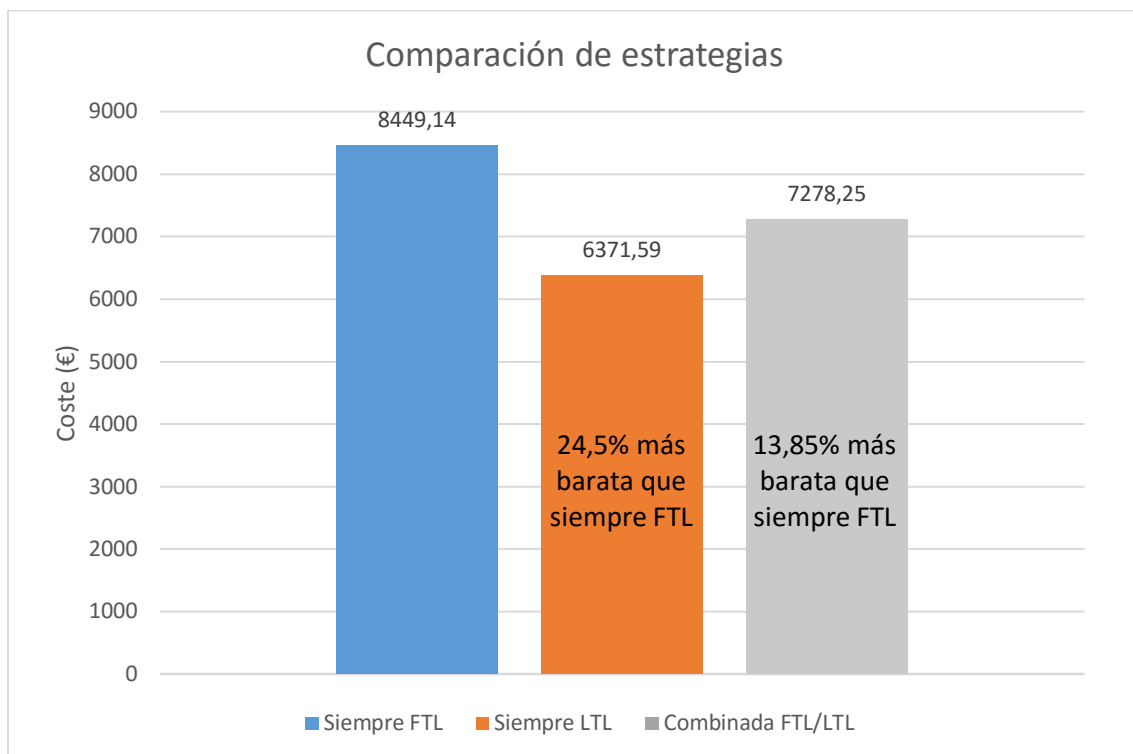
	COSTE POR PALLET
Minorista 1	14,11€
Minorista 2	28,07€
Minorista 3	13,29€
Minorista 4	11,73€
Minorista 5	16,78€
Minorista 6	15,18€
Minorista 7	5,62€
Minorista 8	21,01€
Minorista 9	10,22€
Minorista 10	6,95€

Y el siguiente coste total:

COSTE PROMEDIO POR PALLET	15,42€
COSTE TOTAL	7.278,25€

### 3.4.6. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

El resultado de costes de las simulaciones demuestra que la estrategia Less than truck-load garantiza un coste menor en el modelo gracias a la consolidación de productos en el camión.



Sin embargo, es necesario tener en cuenta que al combinar la carga del camión con productos de otras empresas (clientes para la empresa transportista) el trayecto se alarga, ya que el camión realizará paradas intermedias de carga y descarga en vez de acudir directo al destino. Además, la distancia recorrida será mayor por los desvíos que efectúa para llegar al destino donde desembarca los otros productos.

La estrategia LTL por tanto no es apropiada si se desea realizar los envíos en el menor tiempo posible.

Otra limitación que tiene la consolidación de mercancías de la estrategia LTL es que no es apta para productos que deben ser transportados en unas condiciones específicas, por ejemplo de temperatura, o que puedan perder propiedades si están en contacto con mercancía diferente.

En conclusión, si el tiempo de envío y las condiciones del transporte son aspectos clave, es más recomendable la estrategia FTL aunque el coste unitario sea mayor.

## 4. CONCLUSIÓN Y VALORACIÓN PERSONAL

La elección del tema del trabajo ha sido una decisión personal con la orientación de mi tutor, que me aconsejó enfocarlo en el impacto económico de la centralización y la descentralización de inventarios en la cadena de suministro.

Personalmente la gestión de la cadena de suministro es un tema que me apasiona, y desde que empecé a conocer conceptos básicos de logística siempre he visto el Trabajo de Fin de Grado como una gran oportunidad para especializarme en ello y seguir aprendiendo.

Para la realización del mismo comencé recopilando información existente sobre gestión de inventarios, estrategias de almacenamiento, métodos de transporte, y en definitiva cualquier aspecto a tener en cuenta para diseñar una red de suministro y evaluar su funcionamiento. En esta fase del desarrollo del trabajo comprendí la cantidad de factores involucrados y la dificultad que supone optimizar el almacenamiento y la distribución de los productos.

Para contextualizar el trabajo elaboré el capítulo del Estado del Arte, donde se explican detalladamente los términos que se aplican después y requiere de una atenta lectura especialmente de aquellos que no estén familiarizados con el ámbito de la logística. El Estado del Arte finaliza con una tabla comparativa en la que se analizan las diferencias entre el almacenamiento centralizado y el descentralizado, elaborada en base a los conocimientos que obtuve durante esta primera fase de aprendizaje.

Posteriormente me centré en un tema clave para la comprensión del trabajo: el Risk Pooling. Este concepto, tan importante en la gestión de la cadena de suministro como pueda ser el conocido Efecto Látigo, es determinante para decidir el grado de centralización del almacenamiento. Para poder mostrar una aplicación práctica, elaboré el Caso de Estudio 1, donde se simula el impacto económico de centralizar y descentralizar el inventario utilizando el administrador de escenarios de Excel.

Para estudiar un sistema de almacenamiento alternativo elaboré el Caso de Estudio 2, donde se analizan las diferencias entre el almacenamiento convencional y el Cross-Docking. Considero este caso de estudio muy interesante para comprender cómo la estrategia de almacenamiento elegida es determinante no sólo en los costes de almacenamiento sino también en el tiempo de suministro de los productos, factor que cada día tiene más relevancia para las empresas. La dificultad de coordinar recibos y envíos en los centros Cross-Docking ayuda a comprender la importancia de integrar los sistemas de información entre todos los actores involucrados en satisfacer la petición de un cliente.

Los beneficios del Risk Pooling que se consiguen al centralizar el inventario no sólo pueden consistir en una reducción del Stock de Seguridad como se demuestra en el Caso de Estudio 1, sino también en un aumento del Nivel de Servicio. Para demostrarlo elaboré el Caso de Estudio 3, donde se proponen dos estrategias para mejorar el nivel de servicio, entre ellas la de

centralizar el inventario en un almacén manteniendo el mismo nivel de Stock de Seguridad para aumentar el Nivel de Servicio.

Por último, decidí centrarme en un tema en el que no había profundizado en los anteriores casos de estudio: Las técnicas de transporte. Los casos 1, 2 y 3 muestran el impacto económico que tienen las decisiones sobre ubicación de inventarios en la cadena de suministro realizando demasiadas suposiciones entorno a los costes de transporte, por ello elaboré el Caso de Estudio 4, donde se analizan las técnicas de Full Truck-load y Less than Truck-load. El caso presentado sirve para comprender la relación entre el coste de transporte y el aprovechamiento de la capacidad de carga del camión.

En definitiva, considero que el trabajo es de gran utilidad para aquellos que deseen conocer el impacto de la ubicación de inventarios en la cadena de suministro y aprender conceptos clave para su gestión, gracias a las explicaciones teóricas y su aplicación a casos prácticos. Sin embargo, considero que para que las empresas puedan analizar detalladamente las consecuencias de las decisiones que se planteen tomar entorno a la configuración de su cadena de suministro, requerirán de estudios más profundos y de herramientas más complejas que tengan en cuenta la enorme cantidad de factores involucrados. El factor tiempo, por ejemplo, es una limitación del trabajo porque no se ha tenido en cuenta las fluctuaciones que pueden tener los costes, ya que los cálculos se realizan en base a escenarios estáticos.

Personalmente considero que pese a sus limitaciones el trabajo ha cumplido en gran medida el objetivo de calcular y analizar las repercusiones económicas de la centralización y la descentralización de inventarios, y su realización me ha aportado sin duda alguna un valioso conocimiento en el campo de la logística.



## 5. ANEXOS

<b>Anexo 1</b> .....	<b>71</b>
<b>Anexo 2</b> .....	<b>72</b>
<b>Anexo 3</b> .....	<b>73</b>
<b>Anexo 4</b> .....	<b>74</b>

# ANEXO 1

<b>COSTE TOTAL</b>	<b>11786,60</b>
Coste Almacenamiento	5920,88
Coste Transporte	5865,80

<b>COSTE DE ALMACENAMIENTO</b>	
Coste de Almacenamiento = h x Stock x n	5920,88166
Coste unitario de Almacenar (€/ud) =	0,75
Stock por almacén =	7894,50889
n (número de almacenes) =	1
Stock para usar en 1 almacén =	7549
Stock de Seguridad en 1 almacén=	345,508885
SS (sólo si n=1) =	345,508885
SS (si n>1) =	2335,36
Nivel de servicio (%)=	95
Factor Z (nivel de servicio)	1,64
Variabilidad agregada (sólo si n=1) =	210,67615
Variabilidad total (n>1)	1424
Primera parte ecuación	223900
Segunda parte ecuación	-179515,56

<b>TRANSPORTE</b>	
€/km Camión	1,25
€/km Furgoneta	3,6
<b>LOCALIZACIÓN</b>	
X	Y
Fábrica	28
Almacén 1	248
Almacén 2	195
Almacén 3	167
Almacén 3	305
Minorista A	249
Minorista B	257
Minorista C	270
Minorista D	226
Minorista E	307
Minorista F	169
Minorista G	189
Minorista H	396
Minorista I	283
Minorista J	344

<b>CONDICIONES DE DEMANDA</b>		
Minorista	Valor esperado	Variabilidad
A	575	196
B	649	86
C	504	92
D	711	130
E	963	189
F	978	81
G	758	191
H	627	162
I	959	191
J	825	106
SUMA =	7549	1424

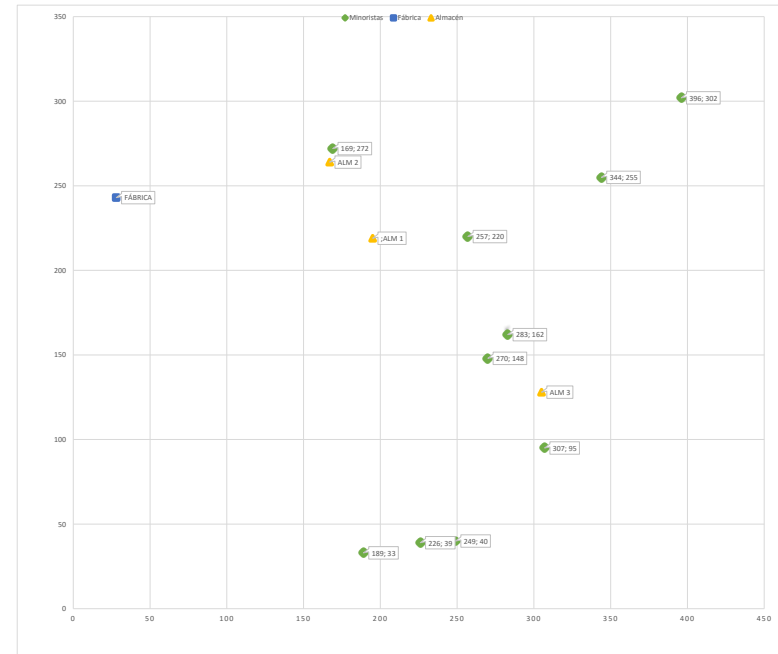
<b>Nivel de servic Factor Z</b>	
50	0
55	0,13
60	0,25
65	0,39
70	0,52
75	0,67
80	0,84
81	0,88
82	0,92
83	0,95
84	0,99
85	1,04
86	1,08
87	1,13
88	1,17
89	1,23
90	1,28
91	1,34
92	1,41
93	1,48
94	1,55
95	1,64
96	1,75
97	1,88
98	2,05
99	2,33
99,5	2,58
99,6	2,65
99,7	2,75
99,8	2,88
99,9	3,09
99,99	3,72

<b>Coeff. correlación mercados</b>										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A										
B	0,66									
C	-0,69	0,9								
D	0,55	0,33	-0,39							
E	-0,96	-0,91	0,78	-0,54						
F	-0,13	-0,32	0,02	-0,9	0,86					
G	-0,92	0,95	0,23	-0,08	-0,85	0,49				
H	0,69	0,97	0,74	-0,37	0,61	0,91	0,28			
I	-0,72	-0,12	0,51	0,36	-0,8	-0,43	-0,65	-0,74		
J	0,3	0,1	-0,09	-0,62	-0,78	-0,07	0,49	-0,77	0,93	

<b>TABLA AUXILIAR PARA EL CÁLCULO DE LA VARIABILIDAD AGREGADA (segunda parte de la ecuación)</b>											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	SUMA
A											
B	11124,96										
C	-12442,08	14014									
D	7120,8	3689,4	-14791,14								
E	-4664,4	13562,64	149,04	4041,56							
F	-13267,8	9477	-1986,4	-7792,2	8938,8						
G	13165,74	-30684,15	18676,98	-28879,2	-15626,52						
H	7580,79	11941,02	-6652,53	-601,02	12268,26						
I	8663,76	-23712,65	9920,54	-5128,35							
J	-22897,08	-13222,44	-36119,52	18828,78							
SUMA											-89757,76

<b>DISTANCIAS</b>													
	Almacén 1	Almacén 2	Almacén 3	Minorista A	Minorista B	Minorista C	Minorista D	Minorista E	Minorista F	Minorista G	Minorista H	Minorista I	Minorista J
Fábrica	168,72	140,58	299,92	217,91	230,15	259,98	284,29	315,82	143,95	264,61	372,70	267,56	316,23
Almacén 1				186,97	62,01	103,28	182,65	167,09	59,03	186,10	365,55	104,85	153,29
Almacén 2				238,54	100,18	155,13	232,61	219,46	8,25	232,05	232,13	154,47	177,23
Almacén 3				104,31	103,77	40,31	119,00	33,06	198,07	149,94	196,36	40,50	132,85
Distancia mínima				104,31	62,01	40,31	119,00	33,06	8,25	149,94	196,36	40,50	132,85
Recibe del almacén:				Alm 3	Alm 1	Alm 3	Alm 3	Alm 3	Alm 2	Alm 3	Alm 3	Alm 3	Alm 3

n	<b>COSTE FÁBRICA-ALM</b>		<b>COSTE ALM-MIN</b>		<b>COSTE TOTAL TRANSPORTE</b>	
	0			9623,52	9623,52	
	1	210,894672		5654,91	5865,80	
	2	175,721726		4991,78	5167,50	
3	374,904154		3191,70	3566,61		
<b>RESULTADO COSTE DE TRANSPORTE = 5865,80356</b>						



## ANEXO 2

Valores a introducir por el usuario

### CONFIGURACIÓN ALMACENAMIENTO CONVENCIONAL

COSTES DE ALMACENAMIENTO				
	uds al año	h (€/ud.mes)	h (€/ud.año)	COSTE ANUAL
VALENCIA	66.181,00 €	1,78 €	21,36	1413626,16
MADRID	34.126,00 €	1,78 €	21,36	728.931,36 €
SEVILLA	23.635,00 €	1,78 €	21,36	504.843,60 €
BILBAO	16.058,00 €	1,78 €	21,36	342.998,88 €
<b>TOTAL</b>	<b>140.000,00 €</b>			<b>2.990.400,00 €</b>
<b>COSTE ALM. MENSUAL =</b>		<b>249.200,00 €</b>		

COSTES DE TRANSPORTE			
FÁBRICA-ALMACÉN			
	€/año	€/mes	
VLC-VLC	- €	- €	
VLC-MAD	83.145,00 €	6.928,75 €	
VLC-SEV	57.839,00 €	4.819,92 €	
VLC-BIL	39.764,00 €	3.313,67 €	
<b>TOTAL =</b>	<b>180.748,00 €</b>	<b>15.062,34 €</b>	
ALMACÉN-CLIENTES			
	€/año	€/mes	
VLC-CLIEN	460.048,00 €	38.337,33 €	
MAD-CLIEN	215.874,00 €	17.989,50 €	
SEV-CLIEN	124.641,00 €	10.386,75 €	
BIL-CLIEN	88.760,00 €	7.396,67 €	
<b>TOTAL =</b>	<b>889.323,00 €</b>	<b>74.110,25 €</b>	
<b>COSTE DE TRANSPORTE TOTAL MENSUAL=</b>		<b>89172,59</b>	

**COSTE TOTAL MENSUAL MODELO DE ALMACENAMIENTO CONVENCIONAL = 338.372,59 €**

### DIFERENCIA COSTE MENSUAL CONF.CONVENCIONAL - CONF. CROSS-DOCKING

Coste mensual configuración almacenamiento convencional =	338.372,59 €
Coste mensual configuración Cross-Docking =	206.782,50 €
<b>Diferencia=</b>	<b>131590,09 €</b>

**Desembolso por rediseño = 1.000.000**

**Tiempo hasta amortización (meses) = 7,60**

### CONFIGURACIÓN CROSS-DOCKING

COSTES DE ALMACENAMIENTO				
	uds	h(€/ud.mes)	h(€/ud.año)	COSTE ANUAL
VALENCIA	66181	0,65	7,80 €	516.211,80 €
MADRID	34126	0,68	8,16 €	278.468,16 €
SEVILLA	23635	0,71	8,52 €	201.370,20 €
BILBAO	16058	0,69	8,28 €	132.960,24 €
<b>TOTAL</b>	<b>140000</b>			<b>1.129.010,40 €</b>
<b>COSTE ALM. MENSUAL =</b>		<b>94.084,20 €</b>		

COSTES ADICIONALES DE GESTIÓN CROSS-DOCKING		
	€/mes	
VALENCIA	4294	
MADRID	4739	
SEVILLA	4962	
BILBAO	5272	
<b>C.ADICIONALES MENSUALES=</b>	<b>19267</b>	

COSTES DE TRANSPORTE			
FÁBRICA-ALMACÉN			
	€/año	€/mes	
VLC-VLC	- €	- €	
VLC-MAD	83.145,00 €	6.928,75 €	
VLC-SEV	57.839,00 €	4.819,92 €	
VLC-BIL	39.764,00 €	3.313,67 €	
<b>TOTAL =</b>	<b>180.748,00 €</b>	<b>15.062,34 €</b>	
ALMACÉN-CLIENTES			
	€/año	€/mes	
VLC-CLIEN	430.064,00 €	35.838,67 €	
MAD-CLIEN	205.739,00 €	17.144,92 €	
SEV-CLIEN	99.623,00 €	8.301,92 €	
BIL-CLIEN	83.552,00 €	6.962,67 €	
<b>TOTAL</b>	<b>818.978,00 €</b>	<b>68.248,18 €</b>	
<b>COSTE DE TRANSPORTE TOTAL MENSUAL =</b>		<b>83.310,52 €</b>	

### PENALIZACIÓN POR AUMENTO DEL LEAD TIME

	Horas de aumento del LT por unidad respecto a almacena. Convencional	Uds servidas/año	€ de coste por ud por hora de LT aumentada	coste por hora de LT aumentada anual	coste mensual
VLC-CLIEN	5	66181	0,30 €	99.271,50 €	8.272,63 €
MAD-CLIEN	4	34126	0,01 €	1.365,04 €	113,75 €
SEV-CLIEN	4,5	23635	0,09 €	9.572,18 €	797,68 €
BIL-CLIEN	3,5	16058	0,20 €	11.240,60 €	936,72 €
<b>COSTE MENSUAL TOTAL =</b>				<b>10120,78</b>	

**COSTE TOTAL MENSUAL MODELO CON CROSS-DOCKING= 206.782,50 €**

## ANEXO 3

Almacén	Demanda esperada	Porcentaje variable	Variabilidad
Madrid	34.126	0,15	5118,90
Sevilla	23.635	0,15	3545,25
Bilbao	16.058	0,15	2408,70
Valencia	66.181	0,15	9927,15
<b>TOTAL</b>	<b>140.000</b>		<b>21000,00</b>

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DEMANDAS.				
	Madrid	Sevilla	Bilbao	Valencia
Madrid				
Sevilla	-0,12			
Bilbao	0,45	0,35		
Valencia	-0,43	0,12		-0,62

Nivel de servicio (%)	Factor Z
50	0
55	0,13
60	0,25
65	0,39
70	0,52
75	0,67
80	0,84
81	0,88
82	0,92
83	0,95
84	0,99
85	1,04
86	1,08
87	1,13
88	1,17
89	1,23
90	1,28
91	1,34
92	1,41
93	1,48
94	1,55
95	1,64
96	1,75
97	1,88
98	2,05
99	2,33
99,5	2,58
99,6	2,65
99,7	2,75
99,8	2,88
99,9	3,09
99,99	3,72

Nivel de servicio anterior (%):	75
Coste unitario de almacenamiento h =	21,3
SS anterior =	14070

Cantidad que la empresa está dispuesta a pagar en costes extra de almacenamiento=	231520
---	--------

Unidades extra de SS que pueden almacenarse =	10869,48
Nuevo SS=	24939,48
Nuevo Factor Z =	1,18759446
Que corresponde a un Nivel de Servicio del (%) =	88,2503388

RESULTADO	
Desembolsar la cantidad de (€):	231520
Proporciona una mejora en el nivel de servicio del (%):	13,25

	tabla auxiliar calculo variabilidad				suma
	madrid	sevilla	bilbao	valencia	
primera parte ecuacion	143122077,6				
segunda parte ecuacion	101192263,3	10585932,11	11312712,36	16765195,17	38663839,64
Variabilidad agregada	15630,56		6709994,02	1336082,763	8046076,782
				3886215,246	3886215,246
total					50596131,67

## ANEXO 4

Localizaciones		Demanda diaria en pallets	
x	y		
Fábrica	500	500	
Minorista 1	30	639	14
Minorista 2	200	43	37
Minorista 3	893	742	24
Minorista 4	351	789	79
Minorista 5	28	842	106
Minorista 6	253	34	28
Minorista 7	598	345	31
Minorista 8	28	912	85
Minorista 9	472	854	49
Minorista 10	632	298	19

Distancias fábrica-minorista (km)	
FÁB-MIN 1	490,12
FÁB-MIN 2	546,67
FÁB-MIN 3	461,53
FÁB-MIN 4	325,15
FÁB-MIN 5	582,88
FÁB-MIN 6	527,41
FÁB-MIN 7	183,38
FÁB-MIN 8	626,52
FÁB-MIN 9	355,11
FÁB-MIN 10	241,30

Número de camiones necesarios				
	Dem/Cap	Camiones completos	Camión parcialmente ocupado al (%)	Pallets en el otro camión
Minorista 1	0,42	0	0,42	14
Minorista 2	1,12	1	0,12	4
Minorista 3	0,73	0	0,73	24
Minorista 4	2,39	2	0,39	13
Minorista 5	3,21	3	0,21	7
Minorista 6	0,85	0	0,85	28
Minorista 7	0,94	0	0,94	31
Minorista 8	2,58	2	0,58	19
Minorista 9	1,48	1	0,48	16
Minorista 10	0,58	0	0,58	19

Capacidad de carga de un camión (europallets)	33
Precio del transporte del camión por km (€/km)	0,95

CAMIONES COMPLETOS		
Minorista	Coste total de los camiones completos	Pallets enviados a camión completo
Minorista 1	0,00	0
Minorista 2	519,34	33
Minorista 3	0,00	0
Minorista 4	617,78	66
Minorista 5	1661,21	99
Minorista 6	0,00	0
Minorista 7	0,00	0
Minorista 8	1190,39	66
Minorista 9	337,35	33
Minorista 10	0,00	0

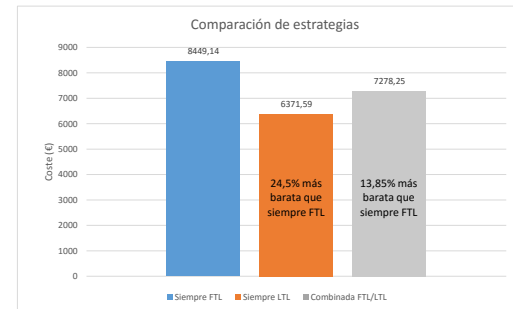
CAMIÓN INCOMPLETO			
Minorista	Estrategia elegida	Coste camión incompleto	Precio por pallet
Minorista 1	LTL	197,53	14,11
Minorista 2	FTL	519,34	28,07
Minorista 3	LTL	318,88	13,29
Minorista 4	FTL	308,89	11,73
Minorista 5	LTL	117,46	16,78
Minorista 6	LTL	425,13	15,18
Minorista 7	FTL	174,21	5,62
Minorista 8	FTL	595,19	21,01
Minorista 9	FTL	163,56	10,22
Minorista 10	LTL	131,99	6,95

COSTE PROMEDIO POR PALLET	15,42
COSTE TOTAL	7278,25

TOTAL PALLETS	472
---------------	-----

TODO FTL	8449,14
TODO LTL	6371,59
COMBINADA	7278,25061

COSTE POR PALLET	
Minorista 1	14,11
Minorista 2	28,07
Minorista 3	13,29
Minorista 4	11,73
Minorista 5	16,78
Minorista 6	15,18
Minorista 7	5,62
Minorista 8	21,01
Minorista 9	10,22
Minorista 10	6,95



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] PricewaterhouseCoopers; “Manual Práctico de Logística para el Programa de Innovación Logística de Aragón” (p.9)
- [2] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain”; McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 1)
- [3] Carlos Vicente Martín Martín, transparencias de “Logística de Distribución Directa e Inversa”; Universitat Politècnica de València.
- [4] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 3)
- [5] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (pp. 8-11)
- [6] María José Escudero Serrano (2005). Capítulo 5. Políticas de gestión de stock. “Almacenaje de productos”; Paraninfo (pp. 129-156)
- [7] Francisca Parra Guerrero (1999). Capítulo 4. Modelos clásicos de gestión de stocks. “Gestión de stocks” (2ª edición). Pozuelo de Alarcón (Madrid, España): ESIC Editorial. (pp. 111-151)
- [8] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 27)
- [9] Slimstock. El nivel de servicio como definición.  
<http://www.slimstock.com/es/noticias/item/146-el-nivel-de-servicio-en-la-cadena-de-suministro-de-la-distribucion-farmaceutica/>
- [10] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (pp. 29-30)
- [11] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 34)

- [12] Arnaldo C. Hax, y Dan Candeo. "Production and Inventory management"  
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [13] J.C. Mejía Villamizar, O. Palacio León, W. Adarme Jaimes, "Efecto látigo en la  
planeación de la cadena de abastecimiento. Medición y control." (22 Enero, 2014)
- [14] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. "Designing and Managing  
the Supply Chain" McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (pp. 82, 83)
- [15] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. "Designing and Managing  
the Supply Chain" McGraw-Hill Education; 3 edition (July 23, 2007) (pp. 91, 92)
- [16] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. "Designing and Managing  
the Supply Chain" McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (pp. 103-107)
- [17] Arturo Ferrín Gutiérrez. "Gestión de stocks en la logística de almacenes", FC  
Editorial, 2007, (p.47)
- [18] Karla Alicia Castillo Gómez. "Propuesta de política de inventarios para productos  
"A" de la empresa REFA Mexicana S.A. de C.V.", Tesis. Universidad de las Américas  
Puebla, 2005, (p.5)
- [19] Ronald H. Ballou, "Logística: administración de la cadena de suministro", Pearson  
Educación, 2004, (pp. 330,331)
- [20] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. "Designing and Managing  
the Supply Chain" McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 42)
- [21] Carlos Vicente Martin Martin, transparencias de "Logística de Distribución Directa  
e Inversa"
- [22] Cristiani Dolohov, "Tipos de almacenes y zonas más comunes de un almacén"  
<http://www.monografias.com/trabajos97/tipos-almacenes-y-zonas-mas-comunes-almacen/tipos-almacenes-y-zonas-mas-comunes-almacen.shtml>
- [23] TES Global "Operaciones de Almacenaje"  
<https://operacionesdealmacenaje.wikispaces.com/FIFO-LIFO>
- [24] Mecalux, S.A. Impacto del FIFO/FEFO en el almacén.

<https://www.mecalux.es/articulos-de-logistica/impacto-del-fefo-fifo-en-el-almacen>

[25] MTM Ingenieros, “¿Qué es el Lead Time?”

<http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-lead-time/>

[26] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 43)

[27] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 60)

[28] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 82)

[29] Neill Kokemuller; “Disadvantages of Direct Distribution”

<http://yourbusiness.azcentral.com/disadvantages-direct-distribution-13036.html>

[30]BMS Team; “Benefits of Direct Shipment”

<http://www.bms.co.in/benefits-of-direct-shipment/>

[31]Sam Ashe-Edmunds; “Advantages & Disadvantages of Direct Distribution”

[http://www.ehow.com/info\\_12049983\\_advantages-disadvantages-direct-distribution.html](http://www.ehow.com/info_12049983_advantages-disadvantages-direct-distribution.html)

[32]Shiloh Schmidt: “What are the differences between LTL and FTL shipping?”

<http://www.jbtransport.com/what-are-the-differences-between-ltl-and-ftl-shipping/>

[33] Dr. Jean-Paul Rodrigue, Dept. of Global Studies & Geography , Hofstra University. “The Geography of Transport Systems”

<https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/conc5en/crossdocking.html>

[34] SCDigest Editorial Staff, “Supply Chain Digest”. Supply Chain News: Where does Crossdocking have the Best Operational Fit?

<http://www.scdigest.com/ONTARGET/11-01-11-1.php?cid=4082>

[35] eSupplyChain.eu; “Cross docking: Just-In-Time for Distribution”.

[http://www.esupplychain.eu/en/info/viewart/493,Cross\\_docking\\_\\_Just\\_In\\_Time\\_for\\_Distribution](http://www.esupplychain.eu/en/info/viewart/493,Cross_docking__Just_In_Time_for_Distribution)

[36] eSupplyChain.eu; “Cross docking: Just-In-Time for Distribution”.



[http://www.esupplychain.eu/en/info/viewart/493,Cross\\_docking\\_\\_Just\\_In\\_Time\\_for\\_Distribution](http://www.esupplychain.eu/en/info/viewart/493,Cross_docking__Just_In_Time_for_Distribution)

[37]Wikipedia; “Walmart”  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Walmart>

[38] David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi. “Designing and Managing the Supply Chain” McGraw-Hill Education; 3ª edición (23 Julio, 2007) (p. 114)

## IMÁGENES

[Figura 1] Minxing, “Supply chain management 101: Trade-off”  
<http://www.minxing.us/category/learning/course/supply-chain/page/3/>

[Figura 2] Sam Malhorta, “Essay on the Statistical Quality Control of a Product”,  
[http://www.shareyouessays.com/wp-content/uploads/hindi/Complete-Essay-on-the-Statistical-Qualit\\_A606/clip\\_image002.jpg](http://www.shareyouessays.com/wp-content/uploads/hindi/Complete-Essay-on-the-Statistical-Qualit_A606/clip_image002.jpg)

[Figura 3] Gerald Oeser, “Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications” (2010), (p. 7)

[Figura 4] Sasha Miranda, “5 Benefits of Cross Docking”  
<http://usacrossdocking.com/category/cross-docking/>

## FÓRMULAS

[Fórmula 1] Gerald Oeser, “Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications” (2010), (p. 15)

[Fórmula 2] Gerald Oeser, “Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications” (2010), (p. 16)